



**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**EVALUASI *SETTING* WAKTU RELE PENGAMAN DI  
PT. PERTAMINA *REFINERY UNIT* IV CILACAP DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN *TRANSIENT STABILITY*  
*ASSESMENT***

Fahmi Nurfaishal  
NRP 07111440000163

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

**EVALUATION OF PROTECTION RELAY TIME SETTINGS  
IN PT. PERTAMINA REFINERY UNIT IV CILACAP BY  
CONSIDERING TRANSIENT STABILITY ASSESSMENT**

Fahmi Nurfaishal  
NRP 07111440000163

Supervisors  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

**EVALUASI SETTING WAKTU RELE PENGAMAN  
DI PT. PERTAMINA REFINERY UNIT IV CILACAP  
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN TRANSIENT  
STABILITY ASSESMENT**

**TUGAS AKHIR**


Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

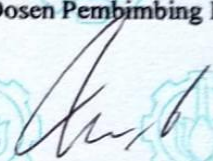
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
NIP. 197309271998031004

  
Dr. Ir Margo Pujiyantara, MT.  
NIP. 196603181990101001



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul “**EVALUASI *SETTING WAKTU RELE* PENGAMAN DI PT. PERTAMINA *REFINERY UNIT IV CILACAP* DENGAN *MEMPERTIMBANGKAN TRANSIENT STABILITY ASSESMENT***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018

Fahmi Nurfaishal  
07111440000163

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **EVALUASI *SETTING* WAKTU RELE PENGAMAN DI PT. PERTAMINA *REFINERY UNIT IV* CILACAP DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *TRANSIENT* *STABILITY ASSESMENT***

Nama mahasiswa : Fahmi Nurfaishal  
Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.  
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

## **Abstrak :**

Sistem kelistrikan PT. Pertamina *Refinery Unit IV* Cilacap, yang umumnya memiliki banyak aktivitas pengolahan bahan bakar minyak, yang mana besarnya beban di suplai oleh beberapa generator yang bekerja paralel bersama. Kestabilan *transient* pada sistem tersebut memiliki peranan penting dalam menjaga keberlangsungan operasinya, karena belum tentu sistem tersebut mampu mempertahankan kestabilannya dari adanya gangguan. Gangguan *transient* sendiri dapat mempengaruhi parameter kestabilan pada sudut rotor pada sistem dan bisa berujung pada lepasnya sinkronisasi generator, sehingga perlu ditentukannya waktu kritis pemutusan / *Critical Clearing Time (CCT)* melalui *Transient Stability Assesment*. *CCT* merupakan waktu kritis pemutusan yang diperbolehkan untuk menghilangkan gangguan, nilai *CCT* didapat berupa batas kondisi stabil dan batas kondisi tidak stabil sistem, dengan melihat respon perubahan sudut rotor generator ketika terjadi gangguan.

Nilai *CCT* yang didapat akan dibandingkan dengan setting rele pengaman eksisting PT. Pertamina RU IV Cilacap, yang selanjutnya akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan resetting rele pengaman. Pada evaluasi ini didapatkan 10 kasus yang tidak memenuhi nilai *CCT*. 4 kasus pada area 50 dengan *CCT* 0.68s - 0.69s, setting eksistingnya melebihi *CCT* yang didapat. Dengan kondisi berbagai evaluasi setiap kasusnya, dapat dilakukan pemberian rekomendasi yang sesuai agar sistem kelistrikan menjadi handal dan layak dari sisi *Transient Stability*.

**Kata kunci:** (*critical clearing time, kestabilan transient sistem, resetting rele pengaman*)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# ***EVALUATION OF PROTECTION RELAY TIME SETTINGS IN PT. PERTAMINA REFINERY UNIT IV CILACAP BY CONSIDERING TRANSIENT STABILITY ASSESSMENT***

Student Name : Fahmi Nurfaishal  
Supervisor I : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.  
Supervisor II : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

## **Abstract :**

*Electrical system of PT. Pertamina Refinery Unit IV Cilacap, which generally has a lot of oil-fuel processing activities, where the load is supplied by several generators working parallel together. Transient stability in the system has an important role in maintaining the continuity of its operation, because not ensured that the system is able to maintain its stability from the disturbance. Transient disturbance itself can affect the stability parameter at the rotor angle, frequency, voltage in the system and can lead to the loss of generator synchronization, so it is necessary to specify the Critical Clearing Time (CCT) by Transient Stability Assesment. CCT is the time that allowed to cleared the disturbance, the CCT value is obtained in the form of a stable condition boundary and an unstable system boundary, by analyzing at the response of the generator rotor angle change when the disturbance occurs.*

*The value of CCT obtained will be compared with the existing protection settings of PT. Pertamina RU IV Cilacap, which will then be used as a reference in determining the protection relay resetting. In this evaluation, 10 cases were found that exceeds the CCT. 4 cases in area 50 with the CCT 0.68s - 0.69s, the existing setting exceeds the CCT obtained. With the condition of various evaluation of each case, the appropriate recommendation is required for electrical system so that become reliable and feasible from side of Transient Stability.*

**Key Word:** (system transient stability, critical clearing time, resetting relay protection resetting)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah Robbil 'Alamin*, Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat dan Karunia, dan Petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“EVALUASI SETTING WAKTU RELE PENGAMAN DI PT.PERTAMINA REFINERY UNIT IV CILACAP DENGAN MEMPERTIMBANGKAN TRANSIENT STABILITY ASSESMENT”**. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT dan junjungan nabi besar Muhammad SAW.
2. Kedua orang tua tercinta, bapak Faishal Badrie dan ibu Dewi Hanum, serta kedua adik, Maidina Choirunnisa dan Aliya Salsabila Shyfa yang selalu memberikan dukungan, dan doa untuk keberhasilan penulis.
3. Bapak Margo Pujiantara dan Ardyono Priyadi selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan ilmu, saran, serta bimbingannya.
4. Seluruh rekan semasa perkuliahan, toraja, K31, keluarga besar KALPATARU, prokesma, E54, Pertamina-Sobat Bumi Foundation, dan seluruh rekan asisten - asisten LIPIST tercinta, Mas Memet, Hery, Oji, Fauzan, Guntur, Aul, Fauqi dan masih banyak lagi angkatan 2012-2013-2014-2015 yang telah membentuk diri, memberikan banyak ilmu dan dukungan, semangat, bantuan, kebersamaan, dan kerjasama selama ini.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

### JUDUL

### LEMBAR PENGESAHAN

### PERNYATAAN KEASLIAN

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii

### BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metodologi .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
1.7 Relevansi .....	4

### BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 Stabilitas Sistem .....	5
2.2 Klasifikasi Stabilitas .....	6
2.2.1 Stabilitas Sudut Rotor .....	6
2.3 Stabilitas <i>Transient</i> .....	7
2.3.1 Perubahan Beban .....	9
2.4 Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan .....	11
2.5 Proteksi Sistem Tenaga Listrik.....	13
2.5.1 Gangguan Beban Lebih.....	15
2.5.2 Gangguan Hubung Singkat .....	15
2.6 Critical Clearing Time .....	15

### BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU IV CILACAP

3.1 Sistem Kelistrikan di PT. Pertamina RU IV Cilacap.....	17
3.2 Data Kelistrikan PT. Pertamina RU-IV Cilacap .....	18
3.2.1 Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanann, dan Demand .....	18

3.2.2	Kapasitas Unit Pembangkit.....	19
3.2.3	Total Beban Setiap Area PT. Pertamina RU IV Cilacap....	19
3.2.4	Sistem Distribusi PT. Pertamina RU IV Cilacap .....	20
3.2.5	Data Kabel PT. Pertamina RU IV Cilacap .....	22

## **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Permodelan Sistem Kelistrikan.....	26
4.2	Studi Kasus <i>Transient Stability Assessment (TSA)</i> .....	26
4.3	Hasil Analisis Penentuan <i>Critical Clearing Time</i> melalui <i>Transient Stability Assesment</i> Pada Setiap Kasus .....	27
4.3.1	Studi Kasus Hubung Singkat Bus 50EE501 13.8 kV (Case 1-50EE501).....	27
4.3.2	Studi Kasus Hubung Singkat Bus 50EE502 13.8 kV (Case 2-50EE502).....	29
4.3.3	Studi Kasus Hubung Singkat Bus 50EE503 13.8 kV (Case 3-50EE503).....	31
4.3.4	Studi Kasus Hubung Singkat Bus 50EE504 13.8 kV (Case 4-50EE504).....	33
4.3.5	Studi Kasus Hubung Singkat Bus 500EE0001 13.8 kV (Case 5-500EE0001).....	35
4.3.6	Studi Kasus Hubung Singkat Bus 500EE0101 13.8 kV (Case 6-500EE0101).....	38
4.3.7	Studi Kasus Hubung Singkat Bus 50EE2101 13.8 kV (Case 7-50EE2101).....	40
4.3.8	Studi Kasus Hubung Singkat Bus 500EE0002 13.8 kV (Case 8-500EE0002).....	42
4.3.9	Studi Kasus Hubung Singkat Bus 05EE0101A 13.8 kV (Case 9-05EE0101A) .....	44
4.3.10	Studi Kasus Hubung Singkat Bus 05EE0101B 13.8 kV (Case 10-05EE0101B) .....	46
4.3.11	Studi Kasus Hubung Singkat Bus 05EE0101C 13.8 kV (Case 11-05EE0101C) .....	48
4.3.12	Studi Kasus Hubung Singkat Bus 05EE0101D 13.8 kV (Case 12-05EE0101D) .....	49
4.3.13	Rekapitulasi Hasil Penentuan <i>Critical Clearing Time (CCT)</i> .....	52
4.4	Evaluasi Setting Waktu Proteksi Eksisting Rele <i>Overcurrent</i> dengan Mempertimbangkan <i>Critical Clearing Time (CCT)</i> .....	52
4.4.1	Data Eksisting Setting Waktu Rele <i>Overcurrent</i> .....	53

4.4.2	Perbandingan Setting Proteksi Eksisting dengan <i>Critical Clearing Time</i> .....	54
4.5	Rekomendasi Perbaikan Setting Proteksi Eksisting dengan Pertimbangan Transient Stability Assessment .....	56
4.5.1	Resetting Waktu Rele <i>Overcurrent</i> .....	56
4.5.2	Penggunaan Rele Differential.....	57
4.5.3	Perbandingan Respon Parameter Kestabilan Menggunakan Hasil Evaluasi Resetting dengan Respon Setting Eksisting .....	57
4.5.3.1	Respon Kestabilan (Case 1-50EE501).....	57
4.5.3.2	Respon Kestabilan (Case 2-50EE502).....	59
4.5.3.3	Respon Kestabilan (Case 3-50EE503).....	61
4.5.3.4	Respon Kestabilan (Case 4-50EE504).....	63
4.5.3.5	Respon Kestabilan (Case 5-500EE0001).....	65
4.5.3.6	Respon Kestabilan (Case 6-500EE0101).....	67
4.5.3.7	Respon Kestabilan (Case 7-50EE2101).....	69
4.5.3.8	Respon Kestabilan (Case 9-05EE0101A).....	71
4.5.3.9	Respon Kestabilan (Case 10-05EE0101B) .....	73
4.5.3.10	Respon Kestabilan (Case 11-05EE0101C) .....	75
4.5.4	Rekapitulasi Hasil Penentuan Rekomendasi .....	78
 <b>BAB 5 KESIMPULAN</b>		
5.1	Kesimpulan .....	79
5.2	Saran .....	79
 <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		
<b>LAMPIRAN</b> .....		
<b>BIODATA PENULIS</b> .....		

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga .....	6
<b>Gambar 2. 2</b> Respon Sudut Rotor - Waktu terhadap Gangguan .....	8
<b>Gambar 2. 3</b> Kurva Daya - Sudut Rotor .....	10
<b>Gambar 3. 1</b> Sistem Kelistrikan Eksisting PT. Pertamina RU IV .....	17
<b>Gambar 4. 1</b> Respon Sudut Rotor (Case 1-50EE501) 0.68s.....	28
<b>Gambar 4. 2</b> Respon Sudut Rotor (Case 1-50EE501) 0.69s.....	29
<b>Gambar 4. 3</b> Respon Sudut Rotor (Case 2-50EE502) 0.68s.....	30
<b>Gambar 4. 4</b> Respon Sudut Rotor (Case 2-50EE502) 0.69s.....	31
<b>Gambar 4. 5</b> Respon Sudut Rotor (Case 3-50EE503) 0.68s.....	32
<b>Gambar 4. 6</b> Respon Sudut Rotor (Case 3-50EE503) 0.69s.....	33
<b>Gambar 4. 7</b> Respon Sudut Rotor (Case 4-50EE504) 0.68s.....	34
<b>Gambar 4. 8</b> Respon Sudut Rotor (Case 4-50EE504) 0.69s.....	35
<b>Gambar 4. 9</b> Respon Sudut Rotor (Case 5-500EE0001) 0.45s .....	36
<b>Gambar 4. 10</b> Respon Sudut Rotor (Case 5-500EE0001) 0.46s .....	37
<b>Gambar 4. 11</b> Respon Sudut Rotor (Case 6-500EE0101) 0.45s .....	38
<b>Gambar 4. 12</b> Respon Sudut Rotor (Case 6-500EE0101) 0.46s .....	39
<b>Gambar 4. 13</b> Respon Sudut Rotor (Case 7-50EE2101) 0.45s .....	40
<b>Gambar 4. 14</b> Respon Sudut Rotor (Case 7-50EE2101) 0.46s .....	41
<b>Gambar 4. 15</b> Respon Sudut Rotor (Case 8-500EE0002) 0.45s .....	42
<b>Gambar 4. 16</b> Respon Sudut Rotor (Case 8-500EE0002) 0.46s .....	43
<b>Gambar 4. 17</b> Respon Sudut Rotor (Case 9-05EE0101A) 1.34s .....	45
<b>Gambar 4. 18</b> Respon Sudut Rotor (Case 9-05EE0101A) 1.35s .....	45
<b>Gambar 4. 19</b> Respon Sudut Rotor (Case 10-05EE0101B) 1.34s.....	46
<b>Gambar 4. 20</b> Respon Sudut Rotor (Case 10-05EE0101B) 1.35s.....	47
<b>Gambar 4. 21</b> Respon Sudut Rotor (Case 11-05EE0101C) 1.34s.....	48
<b>Gambar 4. 22</b> Respon Sudut Rotor (Case 11-05EE0101C) 1.35s.....	49
<b>Gambar 4. 23</b> Respon Sudut Rotor (Case 12-05EE0101D) 1.34s .....	50
<b>Gambar 4. 24</b> Respon Sudut Rotor (Case 12-05EE0101D) 1.35s .....	51
<b>Gambar 4. 25</b> Respon Sudut Rotor (Case 1-50EE501) 0.778s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting) .....	58
<b>Gambar 4. 26</b> Respon Sudut Rotor (Case 1-50EE501) 0.558s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting) .....	58
<b>Gambar 4. 27</b> Respon Sudut Rotor (Case 2-50EE502) 2.13s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting) .....	60

<b>Gambar 4. 28</b> Respon Sudut Rotor (Case 2-50EE502) 0.626s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting) .....	60
<b>Gambar 4. 29</b> Respon Sudut Rotor (Case 3-50EE503) 2.13s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting).....	62
<b>Gambar 4. 30</b> Respon Sudut Rotor (Case 3-50EE503) 0.626s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting) .....	62
<b>Gambar 4. 31</b> Respon Sudut Rotor (Case 4-50EE504) 0.945s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting).....	64
<b>Gambar 4. 32</b> Respon Sudut Rotor (Case 4-50EE504) 0.385s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting) .....	64
<b>Gambar 4. 33</b> Respon Sudut Rotor (Case 5-500EE0001) 4.15s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting).....	66
<b>Gambar 4. 34</b> Respon Sudut Rotor (Case 5-500EE0001) 0.12s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting) .....	66
<b>Gambar 4. 35</b> Respon Sudut Rotor (Case 6-500EE0101) 0.8s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting).....	68
<b>Gambar 4. 36</b> Respon Sudut Rotor (Case 6-500EE0101) 0.12s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting) .....	68
<b>Gambar 4. 37</b> Respon Sudut Rotor (Case 7-50EE2101) 0.76s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting).....	70
<b>Gambar 4. 38</b> Respon Sudut Rotor (Case 7-50EE2101) 0.08s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting) .....	70
<b>Gambar 4. 39</b> Respon Sudut Rotor (Case 9-05EE0101A) 1.78s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting) .....	72
<b>Gambar 4. 40</b> Respon Sudut Rotor (Case 9-05EE0101A) 0.704s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting) .....	72
<b>Gambar 4. 41</b> Respon Sudut Rotor (Case 10-05EE0101B) 1.78s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting) .....	74
<b>Gambar 4. 42</b> Respon Sudut Rotor (Case 10-05EE0101B) 0.714s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting) .....	74
<b>Gambar 4. 43</b> Respon Sudut Rotor (Case 11-05EE0101C) 1.78s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting) .....	76
<b>Gambar 4. 44</b> Respon Sudut Rotor (Case 11-05EE0101B) 0.641s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting) .....	76

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b>	Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan dan Demand .....	18
<b>Tabel 3. 2</b>	Data Unit Pembangkit .....	19
<b>Tabel 3. 3</b>	Data Beban Setiap Area .....	19
<b>Tabel 3. 4</b>	Data Tie-Transformator Distribusi .....	20
<b>Tabel 3. 5</b>	Data Transformator Distribusi.....	20
<b>Tabel 3. 6</b>	Data Kabel.....	22
<b>Tabel 4. 1</b>	Rekapitulasi Hasil Penentuan CCT .....	52
<b>Tabel 4. 2</b>	Data Setting Proteksi Rele Overcurrent Area 50 .....	53
<b>Tabel 4. 3</b>	Data Setting Proteksi Rele Overcurrent Area 500 .....	53
<b>Tabel 4. 4</b>	Data Setting Proteksi Rele Overcurrent Area 05 .....	54
<b>Tabel 4. 5</b>	Perbandingan CCT dengan Setting OCR Eksisting .....	55
<b>Tabel 4. 6</b>	Resetting Waktu OCR mempertimbangkan CCT .....	56
<b>Tabel 4. 7</b>	Data Setting Waktu Rele Differensial.....	57
<b>Tabel 4. 8</b>	Data Rekapitulasi Hasil Penentuan Rekomendasi.....	78

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Stabilitas suatu sistem merupakan kemampuan sistem untuk mampu mempertahankan sistemnya untuk tetap kembali ke keadaan awal setelah mengalami gangguan. Suatu sistem kelistrikan industri sendiri tidak lain sekarang ini, banyak mengalami pengembangan dengan banyaknya aktifitas produksi, pengolahan tergantung kebutuhannya. Kompleksitas dari setiap sistem kelistrikan yang selalu berkembang dapat mempengaruhi perubahan dari segi beban maupun sisi pembangkitan yang bisa berdampak pada kestabilan sistem tersebut.

Gangguan merupakan hal yang tidak bisa dihindari ketika suatu sistem kelistrikan beroperasi, tanpa adanya pengamanan yang sesuai dari berbagai macam gangguan. Ketika terjadi gangguan, seperti perubahan beban yang tidak terduga, menyebabkan sistem berusaha untuk mempertahankan kondisi pasokan listrik yang sesuai dengan permintaan. Hal tersebut bisa membebani pekerjaan dari pembangkit yang lain, yang bekerja paralel bersama, bahkan belum menjamin seluruh pembangkit bisa mempertahankan sinkronisasinya agar tidak lepas dari sistem, sehingga perlu ditentukannya waktu kritis pemutusan / *Critical Clearing Time (CCT)*. CCT merupakan waktu kritis pemutusan yang diperbolehkan untuk menghilangkan gangguan.

PT. Pertamina RU IV Cilacap merupakan salah satu unit pengolahan atau kilang yang memiliki kapasitas produksi terbesar yang ada di Indonesia saat ini. Pada sistem kelistrikannya, yang menjadi suplai daya utama ialah beberapa unit pembangkit yang terbagi pada tiga area dan terdapat supply dari unit PLN untuk memenuhi kebutuhan beban non-esensial pada tiga area tersebut. Dibutuhkan suplai daya yang selalu kontinu untuk menjaga keberlangsungan operasi. Koordinasi proteksi eksisting PT. Pertamina RU IV Cilacap saat ini, belum mempertimbangkan CCT sebagai penentuan setting waktu rele pengamannya, sehingga untuk menghindari kegagalan pembangkit dalam mempertahankan sinkronisasinya ketika terjadi gangguan diperlukan *Transient Stability Assesment (TSA)* berupa penentuan CCT, yang selanjutnya akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan setting rele pengaman yang sesuai.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

- a) Bagaimana respon kestabilan *transient* pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU IV Cilacap.
- b) Bagaimana menentukan *critical clearing time* (CCT) setelah dilakukan *transient stability assessment* (TSA) pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU IV Cilacap.
- c) Bagaimana mengevaluasi *setting* waktu rele pengaman dengan mempertimbangkan CCT.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini diharapkan sebagai berikut :

- a) Mendapatkan data analisis kestabilan transient berupa respon parameter sudut rotor, dari hasil simulasi *software* ETAP 12.6 pada PT. Pertamina RU IV Cilacap.
- b) Mendapatkan nilai CCT melalui analisis respon parameter kestabilan akibat dihilangkannya gangguan hubung singkat tiga fasa pada PT. Pertamina RU IV Cilacap.
- c) Mengevaluasi *setting* waktu rele pengaman dengan mempertimbangkan CCT yang didapat, agar sistem kelistrikan PT. Pertamina RU IV Cilacap mampu mempertahankan kestabilannya ketika terjadi gangguan dan terjaga keandalan, kualitas dan kontinuitasnya.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada topik tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a) Analisis *setting* waktu rele pengaman di PT. Pertamina RU IV Cilacap dengan mempertimbangkan *transient stability assessment* memperhatikan respon parameter sudut rotor generator.
- b) CCT yang didapat dianalisis dari kasus pada Area-50, Area-500, Area-05 dilevel tegangan menengah 13.8 kV.
- c) *Setting* rele pengaman yang di evaluasi di PT. Pertamina RU IV Cilacap adalah rele *overcurrent*.

## 1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah:

a) Studi Literatur

Mempelajari literasi dan referensi berupa jurnal, *paper*, dan buku terkait mengenai analisis kestabilan *transient*, metode penentuan *critical clearing time* (CCT) dari respon dan juga penelitian - penelitian serupa yang telah dilakukan.

b) Pengumpulan Data

Melakukan pengumpulan data - data penunjang Tugas Akhir ini, berupa SLD eksisting PT. Pertamina RU IV Cilacap beserta data peralatan, beban, pembangkitan dan setting proteksi eksisting pada sistem tersebut.

c) Pemodelan Sistem dengan ETAP 12.6.0

Melakukan permodelan SLD sistem PT. Pertamina RU IV Cilacap serta memasukkan data - data peralatan yang dibutuhkan dengan menggunakan software ETAP 12.6 kemudian, mensimulasikan dari hasil permodelan SLD. Simulasi yang akan dilakukan berupa *load flow* ketika sistem berjalan normal dan analisa kestabilan *transient* dengan mengadakan kejadian berupa dihilangkannya gangguan hubung singkat *three-phase* pada PT. Pertamina RU IV Cilacap.

d) Analisis Hasil Simulasi

Hasil simulasi analisa kestabilan *transient* yang didapat berupa parameter respon parameter sudut rotor generator, akan dijadikan bahan sebagai penentuan nilai CCT. Kemudian, dari nilai CCT akan dibandingkan dengan setting waktu rele pengaman eksisting PT. Pertamina RU IV Cilacap.

e) Penentuan Rekomendasi

Dilakukan penentuan rekomendasi yang sesuai permasalahan studi kasus yang didapat, berdasarkan hasil analisis evaluasi *transient stability assessment* (TSA) yang didapat dengan setting eksisting.

f) Kesimpulan

Dari hasil evaluasi, dapat ditarik kesimpulan mengenai setting waktu rele pengaman yang sesuai dengan mempertimbangkan TSA, serta diakhiri dengan saran maupun rekomendasi penanganan dan untuk penelitian - penelitian selanjutnya.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

**Bab 1 : Pendahuluan**

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

**Bab 2 : Tinjauan Pustaka**

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang digunakan untuk menunjang penyusunan tugas akhir ini.

**Bab 3 : Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU IV Cilacap.**

Bab ini menjelaskan mengenai sistem kelistrikan eksisting dan spesifikasi beban maupun pembangkitan pada PT. Pertamina RU IV Cilacap.

**Bab 4 : Simulasi dan Analisis**

Bab ini membahas hasil simulasi sistem kelistrikan pada PT. Pertamina RU IV Cilacap yang meliputi studi aliran daya dan stabilitas transient sistem. Akan didapatkan nilai *critical clearing time* dari hasil simulasi, yang digunakan sebagai bahan analisis evaluasi dan rekomendasi setting waktu rele pengaman yang sesuai.

**Bab 5 : Penutup**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil tugas akhir yang telah dikerjakan dan juga saran yang dapat diberikan untuk pengembangan hasil tugas akhir ini kedepannya.

## 1.7 Relevansi

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

- a) Sebagai bahan rekomendasi PT. Pertamina RU IV Cilacap dalam penentuan setting waktu rele pengaman dengan mempertimbangkan kestabilan *transient* system.
- b) Dapat digunakan sebagai referensi pada penelitian serupa ataupun penelitian pengembangan mengenai pengaruh stabilitas *transient* dalam sistem kelisrikan perindustrian.



## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Stabilitas Sistem**

Suatu sistem kelistrikan industri, dapat dikatakan baik ketika sistem mampu mengatur aliran dayanya, menyalurkan sesuai dengan kebutuhan secara kontinu terus menerus. Dapat menghasilkan kualitas *output* untuk parameter tegangan maupun frekuensi peralatan yang sesuai standart untuk menjaga keberlangsungan operasi. Namun demikian, keberlangsungan operasi suatu sistem tetap dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gangguan eksternal maupun internal. Kemampuan sistem untuk mampu mempertahankan sistemnya untuk tetap kembali ke keadaan awal setelah mengalami gangguan merupakan hal yang penting untuk dijaga atau yang dapat disebut stabilitas sistem. Sehingga keandalan, kontinuitas, kualitas, dan stabilitas suatu sistem membawa peranan penting untuk menjaga sistem kelistrikan tersebut.

Kompleksitas dari suatu sistem kelistrikan industri yang selalu berkembang dapat mempengaruhi perubahan dari segi beban maupun sisi pembangkitan, seperti beban sistem kelistrikan industri yang selalu berubah - ubah setiap waktu dan juga pembangkit bekerja terkoneksi paralel bersama. Jikalau keandalan, kontinuitas, kualitas, dan stabilitas tidak terjaga, dan terjadi perubahan beban dinamis yang fluktuatif, pembangkit diharuskan untuk bisa mengakomodir pasokan dalam menjaga permintaan kebutuhan [1]. Pembangkit yang sinkron bekerja paralel bersama dengan pembangkit yang lain memiliki keluaran daya elektrik yang seimbang dengan daya input mekanis dapat dikatakan sistem beroperasi dengan stabil. Adanya gangguan dapat mempengaruhi stabilitas sistem.

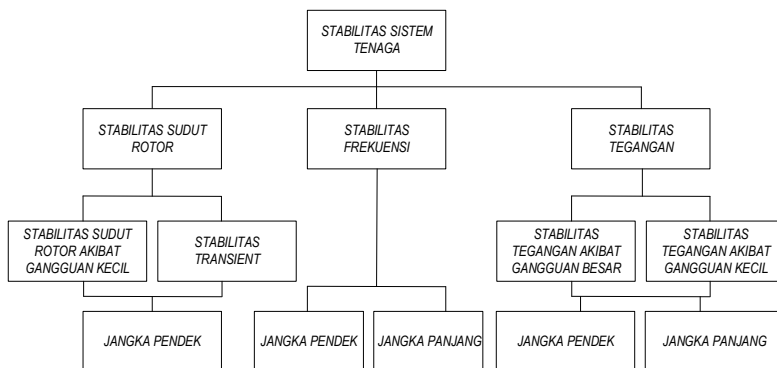
Gangguan merupakan hal yang tidak bisa dihindari ketika suatu sistem kelistrikan beroperasi, tanpa adanya pengamanan yang sesuai dari berbagai macam gangguan. Gangguan seperti perubahan beban, hubung singkat, generator lepas yang tidak terduga, menyebabkan sistem berusaha untuk mempertahankan kondisi pasokan listrik yang sesuai dengan permintaan. Hal tersebut bisa membebani pekerjaan dari pembangkit yang lain, yang bekerja paralel bersama, bisa mempercepat perputaran rotor jika beban terlalu ringan, dan juga dapat memperlambat rotor jikalau beban yang ditanggung melebihi kemampuan pembangkit,

bahkan belum menjamin seluruh pembangkit sendiri bisa mempertahankan sinkronisasinya agar tidak lepas dari sistem. Berbagai macam bentuk gangguan yang dapat terjadi, besar kecilnya magnitude dan durasi lamanya terjadi dapat diklasifikasikan dalam berbagai bentuk studi stabilitas.

## 2.2 Klasifikasi Stabilitas

Mengacu pada paper [1] *Definition and Classification of Power System Stability, IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions*. Stabilitas sistem dibagi menjadi tiga yaitu :

- a) Stabilitas Sudut Rotor
- b) Stabilitas Frekuensi
- c) Stabilitas Tegangan



**Gambar 2. 1** Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga

### 2.2.1 Stabilitas Sudut Rotor

Pada keadaan normal operasi mesin sinkron, medan putar rotor dan medan putar stator berotasi dengan kecepatan yang sama. Mesin sinkron bekerja bersama paralel untuk menjaga stabilitas sistem atau mempertahankan keseimbangan daya listrik dengan daya input mekanis terhadap berbagai macam gangguan [3]. Dalam kondisi setimbang atau yang disebut dengan *equilibrium condition*, torsi input mekanik dengan torsi *output* listrik pada setiap mesin sinkron akan selalu sama, ketika kesetimbangan terganggu hal tersebut dapat menyebabkan percepatan

atau perlambatan pada rotor mesin tersebut [4]. Jikalau gangguan tidak segera dihilangkan akan timbul perbedaan sudut atau yang disebut sudut rotor, yang berujung lepasnya sinkronisasi generator pada suatu sistem kelistrikan. Stabilitas sudut rotor dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian [1], yaitu :

- a) Stabilitas sudut rotor akibat gangguan kecil
- b) Stabilitas sudut rotor akibat gangguan besar atau stabilitas *transient*

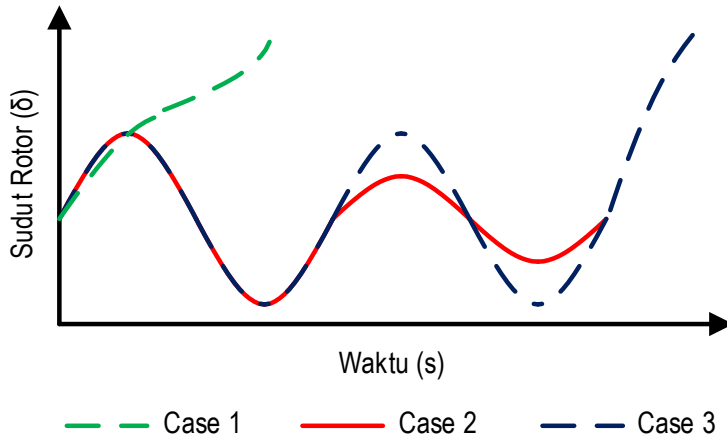
Stabilitas sudut rotor akibat gangguan kecil merupakan kemampuan sistem untuk tetap sinkron ketika terjadi gangguan kecil. Gangguan kecil bisa jadi berasal dari perubahan beban - beban kecil, seperti switching nyala matinya beban, terputusnya line, lepasnya generator - generator kapasitas kecil, kurangnya torsi sinkronisasi dan torsi damping. Stabilitas sudut rotor akibat gangguan besar atau bisa disebut stabilitas *transient* merupakan kemampuan sistem untuk tetap sinkron ketika terjadi gangguan besar. Perubahan beban besar dan lepasnya generator - generator merupakan beberapa gangguan besar yang bisa terjadi.

### 2.3 Stabilitas *Transient*

Perubahan daya mendadak seperti lepasnya generator atau *generator outage*, perubahan beban besar, adanya gangguan hubung singkat, dan starting motor merupakan beberapa faktor penyebab kegagalan sistem untuk menjaga stabilitas transiennya. Stabilitas *transient* merupakan kemampuan sistem untuk mempertahankan sinkronisasinya agar tidak lepas dengan sistem ketika terjadi gangguan - gangguan besar secara tiba - tiba selama sekitar satu ayunan pertama (*first swing*) ketika pengatur tegangan otomatis (AVR) dan *governor* belum bekerja [2].

Stabilitas bergantung terhadap dua hal yaitu kondisi *initial* sistem beroperasi dan seberapa besar dari gangguan yang terjadi [1], sehingga dalam melakukan perencanaan suatu sistem kelistrikan yang baru, dan juga untuk sistem eksisting yang sudah beroperasi lama yang akan melakukan pengembangan terhadap sistemnya diperlukan analisa stabilitas transien atau *Transient Stability Assessment*. Suatu sistem dapat dikatakan stabil pada kestabilan *steady state*, namun belum tentu stabil pada kestabilan transien, sehingga studi ini perlu dilakukan guna untuk mengetahui apakah sistem dapat kembali stabil saat gangguan transien terjadi.

Dapat dilihat pada Gambar 2.2 yang menunjukkan karakteristik dari mesin sinkron berupa respon parameter sudut rotor pada kasus kondisi stabil dan dua kasus kondisi tidak stabil.



**Gambar 2. 2** Respon Sudut Rotor - Waktu terhadap Gangguan

- Case 1, pada saat kondisi sistem tidak stabil, sudut rotor terus meningkat melaju dengan steady hingga sinkronisasi lepas dengan sistem. Bentuk dari ketidakstabilan ini dapat disebut dengan bentuk *first swing instability* atau ketidakstabilan ayunan pertama, yang mana disebabkan oleh kurangnya torsi sinkronisasi.
- Case 2, pada saat kondisi stabil, sudut rotor sempat mengalami isolasi, yang awalnya sudut sempat meningkat hingga cukup tinggi, kemudian kembali menurun untuk mempertahankan sinkronisasinya, sampai menuju steady state. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mencapai *equilibrium condition*.
- Case 3, pada saat awal kondisi sistem, tepatnya pada saat ayunan pertama sistem menunjukkan stabil, akan tetapi sistem menjadi tidak stabil, akibat dari semakin besarnya osilasi yang timbul pada saat mencapai kondisi akhir. Bentuk dari ketidakstabilan dapat dikategorikan *small-signal unstable* karena terjadi pada

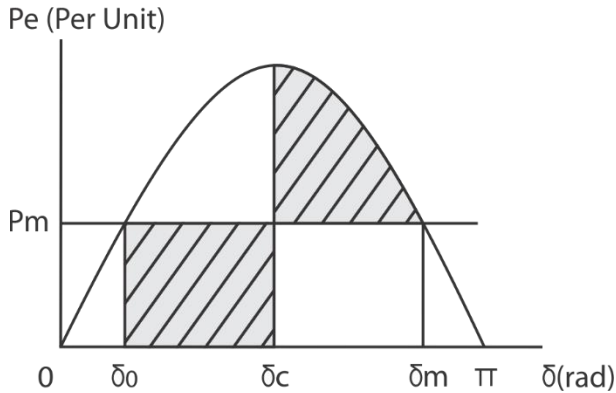
saat kondisi steady state, dan bukan disebabkan oleh gangguan transien melainkan gangguan dinamik.

Pada sistem kelistrikan yang besar, ketidakstabilan transien bukan selalu disebabkan oleh *first swing instability*, sehingga umumnya interval kurun waktu yang diamati dalam studi stabilitas transien biasanya 3-5 detik setelah gangguan, dan dapat juga diperpanjang 10-20 detik untuk sistem yang besar [1]. Diperlukan *Transient Stability Assesment* agar kerusakan yang dihasilkan tidak meluas karena begitu besar pengaruhnya ketika generator tidak dapat mempertahankan sinkronisasinya, dan bisa menghambat aktifitas produksi dari sistem tersebut.

### 2.3.1 Perubahan Beban

Perubahan beban merupakan salah satu gangguan yang dapat menyebabkan terganggunya suatu stabilitas sistem, perubahan dapat berupa penambahan beban besar secara tiba - tiba dan lepasnya beban besar. Dari kedua perubahan tersebut banyak sekali respon yang dapat terjadi atau timbul respon pada mesin sinkron generator sistem, karena stabilitas tidak lepas dari pembangkitan dan bebannya.

Penambahan beban secara tiba - tiba dapat menyebabkan meningkatnya kerja generator sistem yang digunakan. Pada kondisi tersebut daya elektrik  $P_e$  yang dikeluarkan oleh generator meningkat melebihi daya masukan mekanis generator  $P_m$ , dan kekurangan ini disuplai dengan berkurangnya energi kinetis generator. Akibatnya kecepatan putar rotor generator melambat, frekuensi sistem menurun, dan sudut rotor bertambah atau mengayun. Jika daya masukan mekanis  $P_m$  mampu kembali mengimbangi perubahan daya elektrik  $P_e$ , ayunan rotor kembali menurun, dan sistem mencapai *steady*. Jikalau sebaliknya, osilasi yang besar akan timbul, rotor bergetar dan mengayun mencapai titik kritis dan bahkan bisa melebihi hingga tidak kembali atau lepas sinkronisasinya.



**Gambar 2. 3** Kurva Daya - Sudut Rotor

Gambar 2.2 di atas menjelaskan kurva antara daya dengan sudut rotor ketika terjadi gangguan hubung singkat pada sistem. Lepasnya beban dapat diilustrasikan seperti terjadinya gangguan hubung singkat hingga gangguan diisolir. Pada saat gangguan terjadi  $\delta_0$ , daya elektrik  $P_e$  yang dikeluarkan oleh generator menurun, sehingga kondisinya daya mekanis  $P_m$  lebih besar dari daya elektrik  $P_e$ , pada saat momen tersebut itu juga, dari kondisi *initial operation* hingga perubahan yang terjadi, energi kinetis yang masih tersedia pada rotor generator terkonversi menjadi kecepatan sehingga rotor generator mengalami percepatan, frekuensi sistem meningkat dan sudut rotor bertambah atau mengayun. Daya mekanis  $P_m$  berusaha untuk mengikuti perubahan daya elektrik  $P_e$  secepatnya dan gangguan tersebut harus segera dihilangkan sebelum sudut rotor melebihi titik maksimalnya  $\delta_m$ . Sehingga ketika gangguan dihilangkan, kondisinya menjadi daya elektrik  $P_e$  lebih besar dari daya mekanis  $P_m$ . Generator mengusahakan untuk menyeimbangkan kedua daya tersebut dengan meningkatkan daya mekanis  $P_m$  guna mencapai *equilibrium condition*.

## 2.4 Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan

Persamaan ayunan rotor mesin sinkron merupakan dasar dinamika yang menyatakan bahwa momen putar (*accelerating torque*) merupakan hasil kali dari momen kelambaman (*moment of inertia*) rotor dengan percepatan sudutnya [6]. Persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$J\alpha_m(t) = T_m(t) - T_e(t) = T_a(t) \quad (2.1)$$

Dengan keterangan,

- $J$  Momen inersia total dari massa rotor dalam  $kg-m^2$
- $\alpha_m$  Percepatan sudut rotor ( $rad/s^2$ )
- $T_m$  Torsi mekanis atau poros penggerak yang diberikan oleh prime mover dikurangi dengan momen putar perlambatan (retarding) yang disebabkan oleh rugi-rugi perputaran (N-m)
- $T_e$  Torsi elektrik pada total 3-phase output daya elektrik oleh generator dikurangi dengan rugi-rugi elektrik (N-m)
- $T_a$  Torsi percepatan bersih (*net*), (N-m)

Dan juga, percepatan sudut rotor berasal dari

$$\alpha_m(t) = \frac{d\omega_m(t)}{dt} = \frac{d^2\theta_m(t)}{dt^2} \quad (2.2)$$

$$\omega_m(t) = \frac{d\theta_m(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Dengan keterangan,

- $\omega_m$  Kecepatan sudut rotor ( $rad/s$ )
- $\theta_m$  Pergeseran sudut rotor terhadap suatu sumbu yang diam dalam radian mekanis ( $rad$ )

Torsi mekanis  $T_m$  dan torsi elektrik  $T_e$  bernilai positif pada generator sinkron. Pada kondisi steady state  $T_m$  bernilai sama dengan  $T_e$ , sehingga torsi percepatan bersih  $T_a$  bernilai nol, dan, dari persamaan (2.1), percepatan rotor  $\alpha_m$  bernilai nol, kondisi ini menghasilkan kecepatan rotor yang konstan yang bisa juga disebut kecepatan sinkron. Ketika  $T_m$  lebih besar nilainya dibanding  $T_e$ ,  $T_a$  bernilai positif dan  $\alpha_m$  bernilai positif pula, kondisi ini menghasilkan meningkat kecepatan rotor

bekerja. Berlaku pun untuk sebaliknya, ketika  $T_m$  bernilai kurang dari  $T_e$  maka kecepatan rotor akan menurun.

Akan lebih mudah ketika menentukan posisi sudut rotor dengan acuan terhadap sumbu referensi perputaran sinkron dibanding menggunakan acuan terhadap sumbu yang diam atau stationer. Sehingga, dapat ditetapkan

$$\theta_m(t) = \omega_{msyn}(t) + \delta_m(t) \quad (2.4)$$

Dengan keterangan,

$\omega_{msyn}$  Kecepatan sudut sinkron pada rotor (rad/s)

$\delta_m$  Pergeseran sudut rotor terhadap suatu sumbu referensi perputaran sinkron (rad)

Menurut prinsip dasar dinamika rotor yang menyatakan bahwa daya (P) adalah perkalian antara torsi dengan kecepatan sudut, maka jika persamaan (2.1) dikalikan dengan  $\omega_m$ , dengan disubstitusi oleh persamaan (2.2), dan akan lebih mudah penggunaannya jika persamaan menggunakan satuan per-unit dibanding satuan aktualnya dengan dibagi  $S_{rated}$ , sehingga akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{J\omega_m(t)}{S_{rated}} \cdot \frac{d^2\theta_m(t)}{dt^2} &= \frac{\omega_m(t)T_m(t) - \omega_m(t)T_e(t)}{S_{rated}} = P_a(t) \\ &= \frac{P_m(t) - P_e(t)}{S_{rated}} = P_{mp.u}(t) - P_{ep.u}(t) = P_{ap.u}(t) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Dengan keterangan,

$P_{mp.u}$  Daya mekanis atau poros penggerak yang diberikan oleh prime mover dikurangi dengan momen putar perlambatan (retarding) yang disebabkan oleh rugi-rugi perputaran (per unit)

$P_{ep.u}$  Daya listrik output generator dikurangi dengan rugi-rugi elektrik (per unit)

$P_{ap.u}$  Daya percepatan bersih (*net*) yang menyumbang ketidaksetimbangan diantara keduanya, (per unit)



Dalam data mesin untuk studi stabilitas transien terdapat suatu konstanta yang sering dijumpai yaitu inersia mesin (H) yang didefinisikan dengan,

$$H = \frac{\text{Energi Kinetik yang Tersimpan Pada Kecepatan Sinkron}}{\text{Generator Volt Ampere Rating}}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}\omega_{msyn}^2(t)}{s} \text{ joules/VA} \quad (2.6)$$

Konstanta H memiliki keuntungan bahwa nilai tersebut memiliki range yang tidak terlalu luas, yang pada umumnya antara 1 hingga 10 p.u.-s, sedangkan J dapat cukup luas, bergantung ukuran dan tipe unit pembangkitan yang digunakan. Sehingga dengan menggunakan konstanta H persamaan (2.6) untuk J dan digunakan pada persamaan (2.5).

$$2H \frac{\omega_m(t)}{\omega_{msyn}^2} \frac{d^2 \delta_m(t)}{dt^2} = P_{mp.u}(t) - P_{ep.u}(t) = P_{ap.u}(t) \quad (2.7)$$

Dengan mengubah menjadi kecepatan sudut rotor per unit,

$$\omega_{p.u}(t) = \frac{\omega_m(t)}{\omega_{msyn}^2} \quad (2.8)$$

Persamaan (2.7) menjadi

$$\frac{2H}{\omega_{msyn}(t)} \omega_{p.u}(t) \frac{d^2 \delta_m(t)}{dt^2} = P_{mp.u}(t) - P_{ep.u}(t) = P_{ap.u}(t) \quad (2.9)$$

Dari berbagai penguraian diatas, persamaan (2.8) diatas merupakan *per-unit swing equation*, yang mana persamaan ini yang menjadi persamaan fundamental untuk menentukan dinamisasi rotor dalam studi stabilitas transien.

## 2.5 Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik harus didesain dan disetting agar rele pengaman dapat beroperasi merasakan dan mengisolasi daerah gangguan

dengan tepat dan cepat. Rele pengaman adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk memberi sinyal alarm untuk mengisolasi bagian sistem tenaga listrik ketika terjadi gangguan. Ketika gangguan terjadi, arus yang mengalir atau yang bisa disebut dengan arus gangguan meningkat lebih besar nilainya dibanding arus nominalnya, sehingga ketika arus tersebut mengalir melewati peralatan rele pengaman yang digunakan rele akan beroperasi dan mengarahkan *circuit breaker* untuk bekerja.

Dalam memilih peralatan rele pengaman, terdapat beberapa hal penting yang harus dipertimbangkan, ialah sebagai berikut :

- Proteksi yang maksimum, pengamanan ketika kondisi maksimal yang tidak hanya pada saat kondisi *initial* atau operasi saja. Hal ini dikarenakan sistem proteksi juga mempertimbangkan *case* terburuk dapat terjadi pada sistem kelistrikan.
- Proteksi yang handal, lengkap dengan berbagai kemungkinan pengamanan dari berbagai gangguan yang dapat terjadi. Semakin besar aktifitas produksi yang dihasilkan dari suatu industri semakin besar juga sistem kelistrikan yang digunakan, semakin besar dan bermacam juga kemungkinan gangguan yang dapat terjadi. Dengan sistem proteksi yang handal, sistem proteksi yang digunakan pun akan semakin handal.
- Waktu operasi cepat dan sensitivitas tinggi terhadap gangguan, dengan waktu pengisolasian yang cepat, gangguan dapat dengan mudah cepat dan terhindar dari berbagai macam kemungkinan kegagalan dari segi stabilitas maupun dari kerusakan manufaktur peralatan yang digunakan. Stabilitas sangat besar sekali kaitanya dengan proteksi sistem tenaga listrik, karena stabilitas dipengaruhi oleh gangguan. Semakin cepat gangguan dihilangkan, semakin cepat juga kondisi mencapai stabil terhadap adanya gangguan tersebut.

Zona proteksi dapat diklarifikasikan menjadi dua yaitu zona primer dan zona *back up*. Rele proteksi primer digunakan sebagai pertahanan utama dan pertama ketika gangguan terjadi. Untuk rele pengaman zona *back up*, rele tersebut bekerja jikalau gangguan tidak terisolasi oleh rele pengaman primer dengan setting waktu *delay* atau *time grading* yang digunakan.

### **2.5.1 Gangguan Beban Lebih**

Gangguan beban lebih merupakan gangguan yang terjadi akibat meningkatnya arus yang mengalir yang melebihi arus nominalnya yang diizinkan secara kontinu. Dengan nilai arus yang meningkat melebihi ratingnya, peralatan - peralatan listrik seperti generator, trafo, kabel, dan motor yang dialiri arus tersebut dapat merusak komponen internal peralatan yang dialirinya dan juga peralatan pengaman yang digunakan jika desain dan setting tidak sesuai, sehingga gangguan ini tidak dapat dibiarkan terus menerus dan harus segera disolir.

### **2.5.2 Gangguan Hubung Singkat**

Gangguan dalam suatu sistem tenaga listrik yang sudah umum dan sering terjadi adalah hubung singkat. Hal ini bisa disebabkan karena adanya kegagalan isolasi karena *overheat* dan penyebab kerusakan isolasi lainnya, sambaran petir tanpa adanya *lightning pole*, gangguan - gangguan benda karena faktor alam seperti pohon tumbang dan binatang, maupun akibat *human error* atau kesalahan teknis pengerjaan, serta faktor - faktor lainnya yang dapat mempengaruhi terjadinya hubung singkat. Hubung singkat bisa terjadi pada fasa, berupa antar fasa dan bisa juga terjadi hubung singkat antara fasa dan tanah.

Arus yang mengalir menuju titik gangguan dapat bernilai sangat besar pada fasa terganggu. Jika hubung singkat terjadi dengan melibatkan ketiga fasanya atau hubung singkat tiga fasa terjadi, besar nilai arus hubung singkat bernilai sangat besar dan menjadi nilai hubung singkat terbesar, dibanding dengan nilai hubung singkat yang lain. Hal ini akan mengakibatkan kestabilan sistem menjadi terganggu dan dapat berdampak pada rusaknya peralatan.

## **2.6 Critical Clearing Time**

Gangguan harus segera dihilangkan pada suatu sistem kelistrikan, dikarenakan gangguan pada area tersebut bisa merusak peralatan yang dikenai maupun peralatan listrik yang disekitarnya. Dibutuhkan waktu pemutusan yang sesuai agar sistem mampu mempertahankan stabilitasnya ketika gangguan diputus. *Critical clearing time* (CCT) merupakan waktu kritis pemutusan maksimal dan yang diperbolehkan untuk menghilangkan gangguan tanpa mengganggu performansi sistem. Sistem akan mencapai kondisi stabil jika gangguan diisolir sebelum waktu yang diperbolehkan.

Jikalau sebaliknya, sistem tidak mencapai kondisi stabil setelah diisolir, maka waktu yang diperbolehkan tersebut belum bisa mengatasi atau bisa dikatakan CCT yang ditentukan kurang tepat[8]. Nilai dari CCT yang didapat ialah berdasarkan gangguan terbesar yang terjadi atau kemungkinan *worst case* yaitu hubung singkat *three-phase*.

Suatu sistem kelistrikan harus memiliki nilai CCT terhadap sistemnya, yang mana CCT tersebut harus memiliki waktu yang lebih lama dibanding dengan waktu operasional *circuit breaker* bekerja pada sistem tersebut dan pola operasi sistem yang tepat dapat memudahkan untuk menentukan CCT yang diperlukan. Sehingga pola operasi yang tepat, peralatan proteksi yang memadai dan setting proteksi yang sesuai, yang sudah mempertimbangkan CCT dari sistem yang digunakan, keandalan sistem dapat terjaga dengan maksimal.

## BAB 3

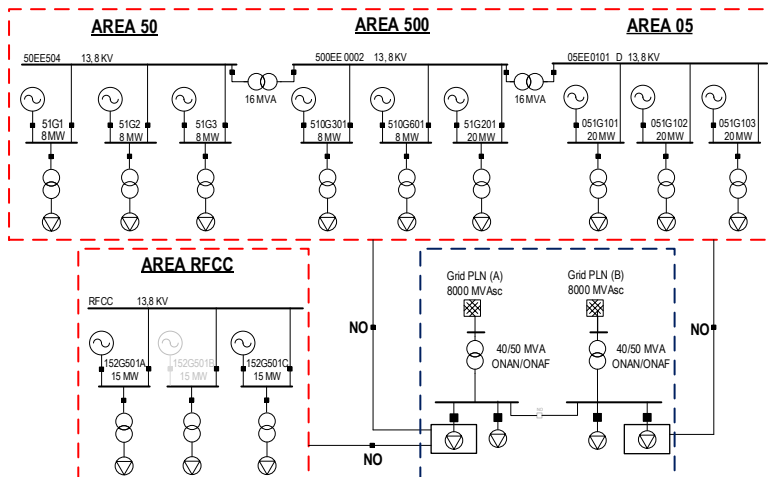
### SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU IV CILACAP

#### 3.1 Sistem Kelistrikan di PT. Pertamina RU IV Cilacap

PT. Pertamina RU IV Cilacap merupakan unit pengolahan terbesar di tanah air dari 7 unit pengolahan yang lain, yang memiliki kapasitas produksi terbesar yaitu 384 MBSD, 384.000 *Barrel Stream Day*. Banyak sekali program - program *upgrading* seperti proyek *Residual Fluid Catalytic Cracker* (RFCC) dan Pertamina Langit Biru Cilacap (PLBC) yang dilakukan, guna meningkatkan kualitas, mutu, maupun *end product* yang lebih baik.

Dengan selesainya proyek PLBC dan beberapa penyempurnaan sistem kelistrikan dari dampak penambahan sejumlah beban dari proyek tersebut, sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU IV Cilacap eksisting dibagi menurut 3 area yang saling terinterkoneksi, 1 area dalam kondisi *islanding*, dan terdapat pemindahan beban non esensial yang terintegrasi dengan sistem PLN. Sistem kelistrikan eksisting dapat dilihat sesuai pada Gambar 3.1.

#### SISTEM EKSISTING



**Gambar 3. 1** Sistem Kelistrikan Eksisting PT. Pertamina RU IV

Sesuai dengan gambar 3.1, sistem kelistrikan PT. Pertamina RU IV Cilacap, memiliki 9 unit pembangkit terbagi menjadi 3 unit untuk 3 area yang saling terinterkoneksi, 5 unit pembangkit dengan kapasitas 8 MW dan 4 unit pembangkit dengan kapasitas 20 MW, sedangkan untuk area yang *islanding* memiliki 3 unit pembangkit dengan kapasitas 15 MW. Sistem kelistrikan ini menggunakan 3 level tegangan yang berbeda yaitu 0.4 kV, 3.45 kV, dan 13.8 kV untuk mendistribusikan bebannya dan juga PT. Pertamina RU IV Cilacap ini ditunjang dengan peralatan *tie* transformator yang berfungsi untuk menghubungkan antar area 50, 500, 05 terinterkoneksi bersama.

Kondisi saat ini dengan adanya penyempurnaan atas penambahan unit beban dari proyek PLBC, yaitu pemindahan beban non-esensial, memberikan dampak yang baik dari segi efisiensi, keandalan maupun ekonomi. Tujuan utama dari hal tersebut ialah untuk menurunkan *Short Circuit Level* dan meningkatkan jumlah *Spinning Reserve* pada sistem[7].

## 3.2 Data Kelistrikan PT. Pertamina RU-IV Cilacap

### 3.2.1 Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanann, dan Demand

Summary dari jumlah total pembangkitan, pembebanan dan demand dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut :

**Tabel 3. 1** Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan dan Demand

Keterangan	MW	MVAr	MVA	%PF
Source ( <i>Swing Bus</i> )	9.716	4.145	10.653	91.98 Lag
Source ( <i>Non Swing Bus</i> )	52.000	28.588	59.341	87.63 Lag
Total Demand	61.716	32.734	69.859	88.34 Lag
Total Motor Load	54.845	25.413	60.447	90.73 Lag
Total Static Load	6.577	4.704	8.086	81.34 Lag
Apparent Losses	0.293	2.616		

Jumlah total demand pada PT. Pertamina RU IV Cilacap adalah 61.716 MW, 32.734 MVAr.

### 3.2.2 Kapasitas Unit Pembangkit

Data untuk kapasitas setiap unit pembangkit pada setiap area dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3. 2** Data Unit Pembangkit

Area	ID Unit	Tegangan (kV)	Rating (MW)	Daya Mampu (MW)
50	51G1	13,8	8	7
	51G2	13,8	8	7
	51G3	13,8	8	7
500	510G301	13,8	8	7
	510G601	13,8	8	7
	510G201	13,8	20	17
05	051G101 (Swing)	13,8	20	17
	051G102	13,8	20	17
	051G103	13,8	20	17
Total			120	103

### 3.2.3 Total Beban Setiap Area PT. Pertamina RU IV Cilacap

Sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU IV Cilacap terdiri dari 3 area yang terinterkoneksi dengan menggunakan *Tie-Transformator* pada level tegangan 13.8 kV. Berikut data beban bisa dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3. 3** Data Beban Setiap Area

Area	ID Unit	Rating (MW)	Daya Operasi (MW)	Beban (MW)
50	51G1	8	5	7.2
	51G2	8	5	8.7
	51G3	8	5	2.8
500	510G301	8	5	11.3
	510G601	8	5	5.3
	510G201	20	9	1.7

05	051G101 (Swing)	20	9.7	10.2
	051G102	20	9	8.4
	051G103	20	9	6.1
Total		120	61.7	61.7

### 3.2.4 Sistem Distribusi PT. Pertamina RU IV Cilacap

Sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU IV Cilacap menggunakan 3 level tegangan yang berbeda yaitu 0.4 kV, 3.45 kV, dan 13.8 kV untuk mendistribusikan bebannya. PT. Pertamina RU IV Cilacap memiliki sistem kelistrikan yang radial untuk setiap areanya, dengan adanya penggunaan *tie-transformator* pada level tegangan 13.8 kV, sistem tersebut menggabungkan dan menginterkoneksi sistem radial antar area 50, 500, maupun 05. Tabel 3.4 menunjukkan data spesifikasi Tie-Transformator distribusi dan Tabel 3.5 menunjukkan data spesifikasi Transformator distribusi pada PT. Pertamina RU IV Cilacap.

**Tabel 3. 4** Data Tie-Transformator Distribusi

ID Unit	MVA	kV	%Z	Hubungan
50EE0101A	16	13.8/13/8	13.51	delta/delta
500EE0007	16	13.8/13/8	13.51	delta/delta

**Tabel 3. 5** Data Transformator Distribusi

ID Unit	kV	Rating	%Z	X/R	Hubungan
01EE1111A	13.8 / 3.45 kV	12 MVA	6.8	15.9	Delta/Wye
01EE1111B	13.8 / 3.45 kV	12 MVA	6.8	15.9	Delta/Wye
01EE1112A	3.45 / 0.4 kV	1 MVA	8.54	5.8	Delta/Wye
01EE1112B	3.45 / 0.4 kV	1 MVA	8.45	5.8	Delta/Wye
02EE1212D	3.45 / 0.4 kV	0.75 MVA	6.3	5.8	Delta/Wye
05EE0012A	3.45 / 0.4 kV	0.75 MVA	6.35	5.79	Delta/Wye
05EE1111A	13.8 / 3.45 kV	7.5 MVA	5.33	14.2	Delta/Wye
05EE1111B	13.8 / 3.45 kV	7.5 MVA	5.34	14.2	Delta/Wye
05EE1212A	3.45 / 0.4 kV	1 MVA	8.42	5.8	Delta/Wye
05EE1212DZ	3.45 / 0.4 kV	0.75 MVA	6.33	5.8	Delta/Wye



10EE101A	13.8 / 3.45 kV	5 MVA	6.5	12.14	Delta/Wye
10EE201A	13.8 / 3.45 kV	3.75 MVA	5.59	14.4	Delta/Wye
10EE301A	13.8 / 3.45 kV	3.75 MVA	5.62	11.4	Delta/Wye
10EE0301B	13.8 / 3.45 kV	3.75 MVA	5.7	11.4	Delta/Wye
10EE0306A	3.45 / 0.4 kV	1 MVA	5.92	5.8	Delta/Wye
20EE101A	13.8 / 3.45 kV	3.75 MVA	5.55	11.4	Delta/Wye
20EE205A	3.45 / 0.4 kV	1 MVA	8.34	5.8	Delta/Wye
20EE205B	3.45 / 0.4 kV	1 MVA	8.46	5.8	Delta/Wye
30-EE-31-01-B	13.8 / 3.45 kV	5 MVA	6.5	12.14	Delta/Wye
30-EE-31-06-A	3.45 / 0.4 kV	1 MVA	5.75	5.79	Delta/Wye
30-EE-31-06-B	3.45 / 0.4 kV	1 MVA	5.75	5.79	Delta/Wye
30EE101B	13.8 / 3.45 kV	5 MVA	3.45	12.1	Delta/Wye
30EE105	3.45 / 0.4 kV	0.5 MVA	4.96	5.8	Delta/Wye
30EE105B	3.45 / 0.4 kV	0.5 MVA	4.94	5.8	Delta/Wye
30EE201A	13.8 / 3.45 kV	5 MVA	5.94	12.1	Delta/Wye
30EE205A	3.45 / 0.4 kV	0.5 MVA	4.82	5.8	Delta/Wye
47EE0012B	3.45 / 0.4 kV	0.225 MVA	4.7	5.8	Delta/Wye
50EE101A	13.8 / 3.45 kV	3.75 MVA	5.57	11.4	Delta/Wye
50EE2111B	13.8 / 3.45 kV	5 MVA	6.5	10	Delta/Wye
50EE2112A	3.45 / 0.4 kV	0.8 MVA	6.5	5.8	Delta/Wye
50EE2112B	3.45 / 0.4 kV	0.8 MVA	6.5	5.8	Delta/Wye
60EE101A	13.8 / 3.45 kV	3.75 MVA	5.5	11.41	Delta/Wye
60EE101B	13.8 / 3.45 kV	3.75 MVA	5.5	11.41	Delta/Wye
60EE105	3.45 / 0.4 kV	0.225 MVA	5.5	5.8	Delta/Wye
60EE205	3.45 / 0.4 kV	1 MVA	4.8	4.7	Delta/Wye
60EE305	3.45 / 0.4 kV	1 MVA	8.5	5.8	Delta/Wye
70EE0101A	13.8 / 3.45 kV	2.5 MVA	5.44	10.7	Delta/Wye
70EE0101B	13.8 / 3.45 kV	2.5 MVA	5.4	5.4	Delta/Wye
70EE105A	3.45 / 0.4 kV	0.5 MVA	5	5.8	Delta/Wye
70EE105B	3.45 / 0.4 kV	0.5 MVA	5	5.8	Delta/Wye
70EE607A	3.45 / 0.4 kV	0.15 MVA	4	3.45	Delta/Wye
70EE1111A	13.8 / 3.45 kV	7.3 MVA	5.32	14.2	Delta/Wye
70EE1111B	13.8 / 3.45 kV	7.5 MVA	5.37	14.2	Delta/Wye
70EE1112A	3.45 / 0.4 kV	0.5 MVA	5.17	5.8	Delta/Wye
80EE2111B	13.8 / 3.45 kV	10 MVA	6.5	15.5	Delta/Wye
80EE2111D	13.8 / 3.45 kV	10 MVA	6.5	15.5	Delta/Wye
80EE2112F	3.45 / 0.42 kV	1.6 MVA	6.5	7.1	Delta/Wye
90EE0111B	13.8 / 3.45 kV	5 MVA	6.5	15.5	Delta/Wye

90EE01012B	3.45 / 0.4 kV	1.25 MVA	4.97	5.8	Delta/Wye
90EE01012D	3.45 / 0.4 kV	1.25 MVA	8.55	5.8	Delta/Wye
100EE6011B	13.8 / 0.4 kV	5 MVA	6.75	12.14	Delta/Wye
200EE0101B	13.8 / 3.45 kV	5 MVA	5.6	9.4	Delta/Wye
500EE0007	13.8 / 13.8 kV	16 MVA	13.51	25	Delta/Wye
500EE0106A	3.45 / 0.42 kV	1 MVA	5.67	5.8	Delta/Wye

### 3.2.5 Data Kabel PT. Pertamina RU IV Cilacap

PT. Pertamina RU IV Cilacap memiliki komponen berupa kabel untuk menghubungkan antara penyulang dan beban yang ada. Tabel 3.6 berikut merupakan data-data kabel yang terdapat pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU IV Cilacap :

**Tabel 3. 6** Data Kabel

ID Unit	Panjang (m)	Rating	kV	Isolasi	Manufaktur	Tipe
1-11	193.55 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
1-15	163.07 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
1-17	750.11 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
1-21	29.566 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
1-27	7800 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
1-61	530.35 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
2-12	199.95 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
2-13	566.93 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
2-16	170.99 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
2-19	470 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
2-22	45.11 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
2-23	1199 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
3-14	580.03 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
3-18	769.92 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
3-20	480.06 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
3-24	1199 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
3-28	7800 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
3-62	530.35 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
54-64	210.01 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
54-66	441.96 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
54-70	100.58 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU

501-512	210.01 m	1 - 3/C 500	13	Rubber	NEC	CU
501-515	359.97 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
501-518	359.97 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
501-521	89.916 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
501-524	869.9 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
501-531	762 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
501-564	800.1 m	1 - 3/C 300	13	Rubber	NEC	CU
502-511	199.95 m	1 - 3/C 500	13	Rubber	NEC	CU
502-514	395.02 m	1 - 3/C 500	13	Rubber	NEC	CU
502-520	515.11 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
502-522	60.046 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
502-526	769.92 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
502-528	869.9 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
502-530	1160 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
502-566	800.1 m	1 - 3/C 300	13	Rubber	NEC	CU
503-513	405.08 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
503-516	370.33 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
503-523	1615 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
503-525	754.99 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
503-527	880.87 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
503-532	7620 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
503-562	249.94 m	1 - 3/C 300	13	Rubber	NEC	CU
503-568	1599 m	1 - 3/C 300	13	Rubber	NEC	CU
554-69	525.78 m	1 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
554-561	29.87 m	1 - 3/C 300	13	Rubber	NEC	CU
554-567	1501 m	1 - 3/C 300	13	Rubber	NEC	CU
Cable44	700.13 m	1 - 3/C 300	13	Rubber	NEC	CU
Cable167	700.13 m	1 - 3/C 300	13	Rubber	NEC	CU
Cable189	689.15 m	2 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU
Cable512	199.95 m	1 - 3/C 500	13	Rubber	NEC	CU
Cable600	689.15 m	2 - 3/C 350	13	Rubber	NEC	CU

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem kelistrikan yang akan dilakukan simulasi dan analisis pada bab keempat ini, ialah *plant* PT. Pertamina RU IV Cilacap dengan konfigurasi, 3 area (Area-50 ; Area-500 ; Area-05) yang saling terinterkoneksi dan sudah terdapat pemindahan beban non esensial yang terintegrasi dengan sistem PLN. Berikut langkah - langkah yang dilakukan dalam simulasi dan analisis tugas akhir ini :

- I. Memberi event gangguan hubung singkat *three-phase* pada bus yang dipilih untuk di analisis.
- II. Memberi event *clear-fault* untuk menghilangkan gangguan tersebut pada waktu yang kita tentukan dengan *trial-error*, dengan melihat respon parameter sudut rotor untuk menentukan *critical clearing time* (CCT).

Penjelasan penggunaan event *clear-fault* dan *CB-open* :

- a) Kegunaan dari event *clear-fault* ialah untuk menentukan CCT. Event ini diasumsikan berupa gangguan temporer yang terjadi pada studi kasus yang dipilih. Dengan menggunakan event ini studi kasus pada bus generator akan lebih mudah dianalisis, hal ini dikarenakan generator pada bus tersebut responnya masih dapat dianalisis dan dapat mengidentifikasi dari adanya *pole slip* atau kerusakan mekanis internal yang dapat terjadi, ketika respon mencapai nilai kritisnya.
  - b) Jikalau menggunakan event *CB-open* dalam penentuan CCT, generator pada bus tersebut, respon kestabilannya tidak dapat dianalisis karena generator terputus dari sistem, sehingga respon kestabilan hanya dapat menganalisis respon generator lain. Kondisi ini tidak menguntungkan dalam penentuan CCT, dikarenakan kita tidak dapat mengidentifikasi dari adanya *pole slip* pada generator yang terputus. Event *CB-open* ini digunakan untuk melihat perbandingan respon eksisting dan resetting diakhir sub bab 4.5.3.
- III. Mengevaluasi dengan membandingkan nilai CCT yang didapat dengan setting waktu rele pengaman eksisting yang belum mempertimbangkan CCT.
  - IV. Memberikan rekomendasi dengan bentuk evaluasi yang tepat, sesuai hasil analisis CCT bersama setting eksisting yang digunakan.

#### 4.1 Permodelan Sistem Kelistrikan

Permodelan sistem dari data – data kelistrikan yang didapat, ialah dalam bentuk *single line diagram* dengan menggunakan software ETAP 12.6. Selanjutnya, *plant* PT. Pertamina RU IV Cilacap tersebut, dilakukan *transient stability assessment (TSA)* dengan kemungkinan terjadinya gangguan hubung singkat.

#### 4.2 Studi Kasus *Transient Stability Assessment (TSA)*

Pada simulasi ini dilakukan analisis kestabilan transien pada PT. Pertamina RU IV Cilacap akibat gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat tersebut terjadi pada bus level tegangan menengah 13.8 kV. Parameter yang diperhatikan dalam tugas akhir ini adalah respon parameter sudut rotor sistem, dari respon tersebut dapat ditentukan nilai rentang CCT dari kondisi stabil hingga kondisi tidak stabil sistem.

Studi kasus gangguan hubung singkat pada bus yang dipilih untuk dilakukan simulasi ini antara lain, sebagai berikut :

- I. **Bus 50EE501** : Bus yang mempunyai level tegangan 13.8 kV, tepatnya dibawah generator 51G1 - 8 MW, pada area 50.
- II. **Bus 50EE502** : Bus yang mempunyai level tegangan 13.8 kV, tepatnya dibawah generator 51G2 - 8 MW, pada area 50.
- III. **Bus 50EE503** : Bus yang mempunyai level tegangan 13.8 kV, tepatnya dibawah generator 51G3 - 8 MW, pada area 50.
- IV. **Bus 50EE504** : Bus sinkron yang menghubungkan bus - bus generator area 50 dengan area 500, yang mempunyai level tegangan 13.8 kV.
- V. **Bus 50EE0001** : Bus yang mempunyai level tegangan 13.8 kV, tepatnya dibawah generator 51G1 - 8 MW, pada area 50.
- VI. **Bus 50EE0101** : Bus yang mempunyai level tegangan 13.8 kV, tepatnya dibawah generator 51G2 - 8 MW, pada area 50.
- VII. **Bus 50EE2101** : Bus yang mempunyai level tegangan 13.8 kV, tepatnya dibawah generator 51G3 - 8 MW, pada area 50.
- VIII. **Bus 50EE0002** : Bus sinkron yang menghubungkan bus - bus generator area 500 dengan kedua area 50 dan 05, yang mempunyai level tegangan 13.8 kV.
- IX. **Bus 05EE0101A** : Bus yang mempunyai level tegangan 13.8 kV, tepatnya dibawah generator 51G1 - 8 MW, pada area 50.

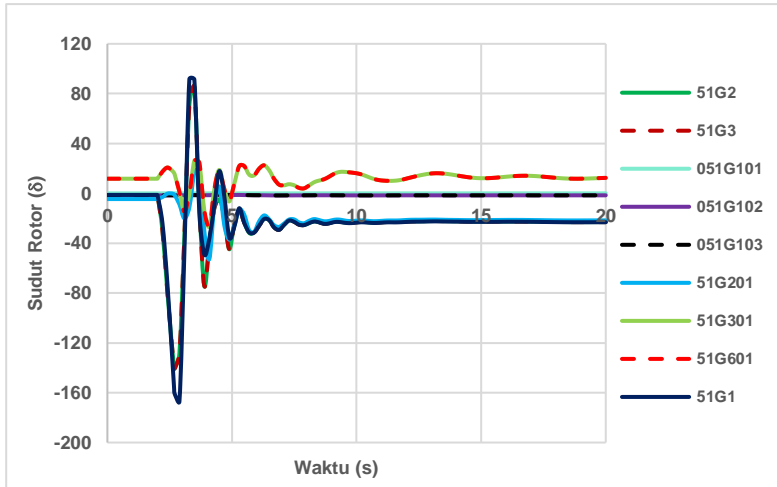
- X. **Bus 05EE0101B** : Bus yang mempunyai level tegangan 13.8 kV, tepatnya dibawah generator 51G2 - 8 MW, pada area 50.
- XI. **Bus 05EE0101C** : Bus yang mempunyai level tegangan 13.8 kV, tepatnya dibawah generator 51G3 - 8 MW, pada area 50.
- XII. **Bus 05EE0101D** : Bus sinkron yang menghubungkan bus - bus generator area 50 dengan area 500, yang mempunyai level tegangan 13.8 kV.

#### **4.3 Hasil Analisis Penentuan *Critical Clearing Time* melalui *Transient Stability Assesment* Pada Setiap Kasus**

Pada sub ini akan dijelaskan dan dilampirkan, penentuan CCT dengan cara *trial* dan *error*, dari analisis simulasi kestabilan transien untuk tiap studi kasus gangguan yang telah dipilih, menggunakan *software* ETAP 12.6.

##### **4.3.1 Studi Kasus Hubung Singkat Bus 50EE501 13.8 kV (Case 1-50EE501)**

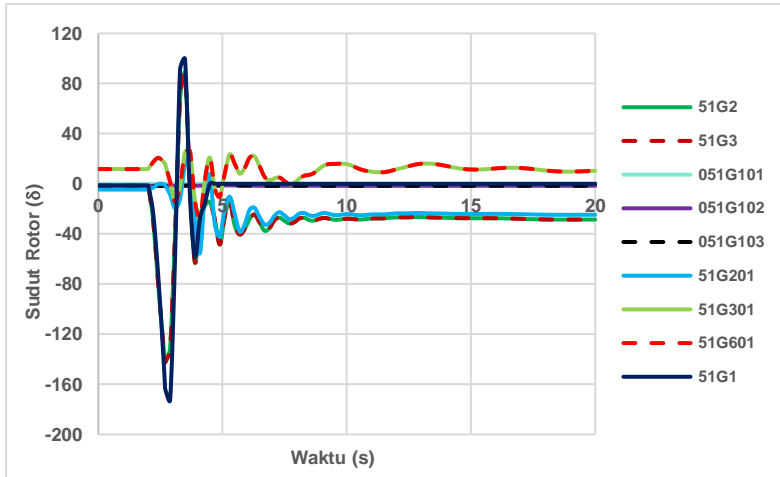
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut pada bus 50EE501. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu pemutusan kondisi sistem stabil pada 0.68s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 0.69s, setelah gangguan. Berikut plot grafik respon parameter sudut rotor generator - generator sistem, saat kondisi stabil dan ketika kondisi tidak stabil :



**Gambar 4. 1** Respon Sudut Rotor (Case 1-50EE501) 0.68s

Gambar 4.1 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.68 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah mencapai  $-167.16^0$  di waktu 2.89 s pada 51G1 (8 MW-Area 50), akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) mampu kembali mempertahankan kestabilannya, dengan kenaikan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi  $91.63^0$  di waktu 3.29 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.





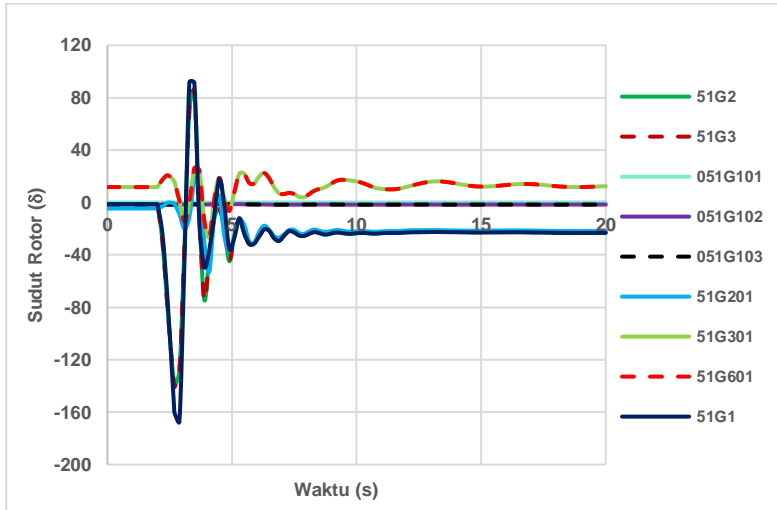
**Gambar 4. 2** Respon Sudut Rotor (Case 1-50EE501) 0.69s

Gambar 4.2 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.69 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G1 (8 MW-Area 50) semakin menurun mencapai  $-172.59^0$ , yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.68 s mencapai  $-167.16^0$  di waktu yang sama 2.89 s. Generator 51G1 (8 MW-Area 50) sempat mempertahankan ayunannya dengan mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan, akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) tidak mampu kembali mempertahankan kestabilannya di waktu 4.49 s, sudut rotor mencapai  $0^0$  atau bisa dikatakan 51G1 (8 MW-Area 50) *off* berhenti bekerja karena kehilangan sinkronisasinya.

#### 4.3.2 Studi Kasus Hubung Singkat Bus 50EE502 13.8 kV (Case 2-50EE502)

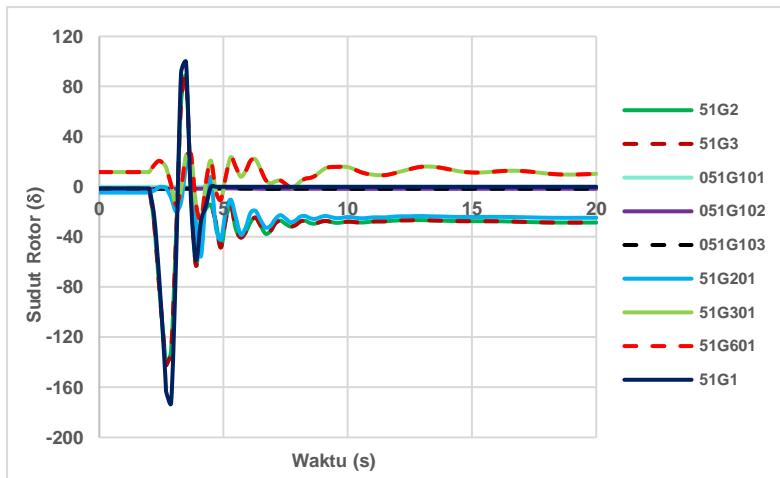
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut pada bus 50EE502. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu

pemutusan kondisi sistem stabil pada 0.68 s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 0.69 s, setelah gangguan. Berikut plot grafik respon parameter sudut rotor generator - generator sistem, saat kondisi stabil dan ketika kondisi tidak stabil :



**Gambar 4. 3** Respon Sudut Rotor (Case 2-50EE502) 0.68s

Gambar 4.3 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.68 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah mencapai  $-167.16^{\circ}$  di waktu 2.89 s pada 51G1 (8 MW-Area 50), akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) mampu kembali mempertahankan kestabilannya, dengan kenaikan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi  $91.63^{\circ}$  di waktu 3.29 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.



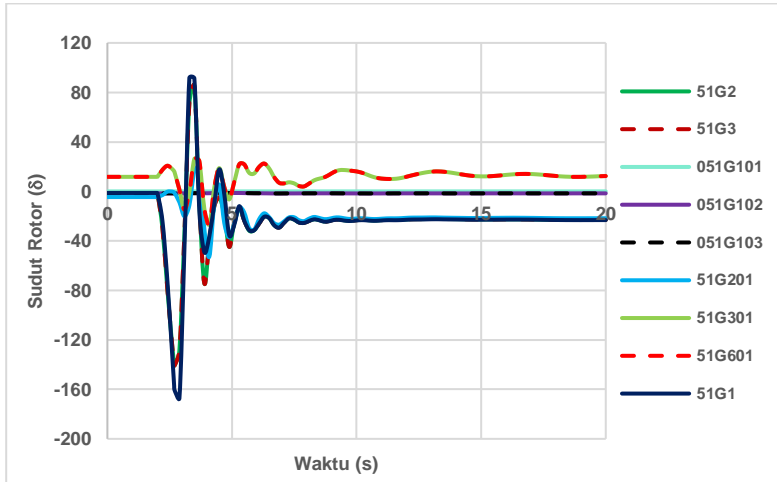
**Gambar 4. 4** Respon Sudut Rotor (Case 2-50EE502) 0.69s

Gambar 4.4 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.69 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G1 (8 MW-Area 50) semakin menurun mencapai  $-172.59^0$ , yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.68 s mencapai  $-167.16^0$  di waktu yang sama 2.89 s. Generator 51G1 (8 MW-Area 50) sempat mempertahankan ayunannya dengan mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan, akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) tidak mampu kembali mempertahankan kestabilannya di waktu 4.49 s, sudut rotor mencapai  $0^0$  atau bisa dikatakan 51G1 (8 MW-Area 50) *off* berhenti bekerja karena kehilangan sinkronisasinya.

#### 4.3.3 Studi Kasus Hubung Singkat Bus 50EE503 13.8 kV (Case 3-50EE503)

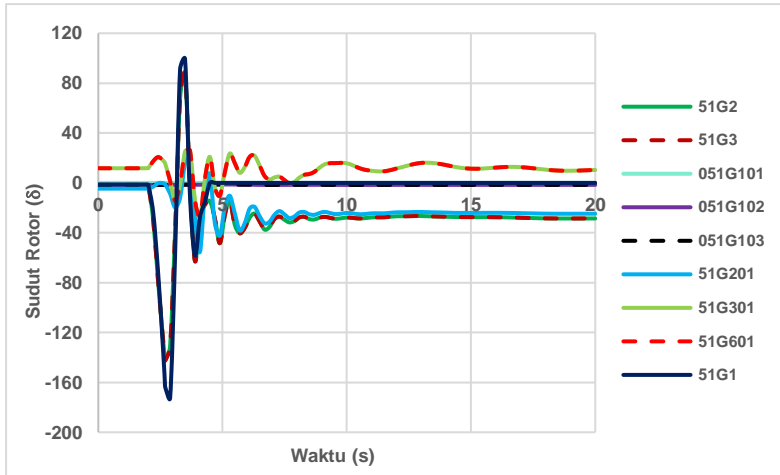
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut pada bus 50EE503. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu

pemutusan kondisi sistem stabil pada 0.68 s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 0.69 s, setelah gangguan. Berikut plot grafik respon parameter sudut rotor generator - generator sistem, saat kondisi stabil dan ketika kondisi tidak stabil :



**Gambar 4. 5** Respon Sudut Rotor (Case 3-50EE503) 0.68s

Gambar 4.5 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.68 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah mencapai  $-167.16^{\circ}$  di waktu 2.89 s pada 51G1 (8 MW-Area 50), akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) mampu kembali mempertahankan kestabilannya, dengan kenaikan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi  $91.63^{\circ}$  di waktu 3.29 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.



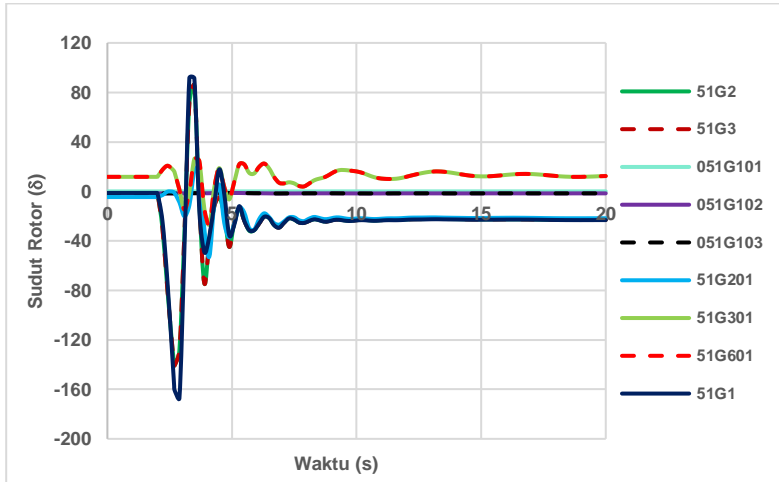
**Gambar 4. 6** Respon Sudut Rotor (Case 3-50EE503) 0.69s

Gambar 4.6 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.69 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G1 (8 MW-Area 50) semakin menurun mencapai  $-172.59^{\circ}$ , yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.68 s mencapai  $-167.16^{\circ}$  di waktu yang sama 2.89 s. Generator 51G1 (8 MW-Area 50) sempat mempertahankan ayunannya dengan mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan, akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) tidak mampu kembali mempertahankan kestabilannya di waktu 4.49 s, sudut rotor mencapai  $0^{\circ}$  atau bisa dikatakan 51G1 (8 MW-Area 50) *off* berhenti berkerja karena kehilangan sinkronisasinya.

#### 4.3.4 Studi Kasus Hubung Singkat Bus 50EE504 13.8 kV (Case 4-50EE504)

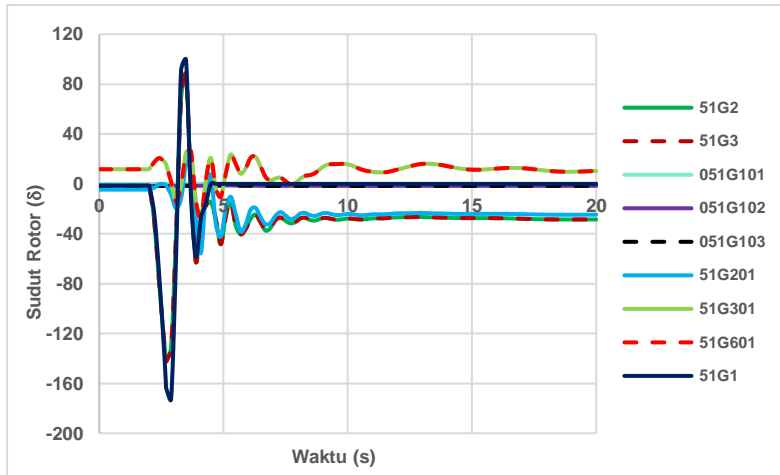
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut pada bus 50EE504. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu

pemutusan kondisi sistem stabil pada 0.68 s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 0.69 s, setelah gangguan. Berikut plot grafik respon parameter sudut rotor generator - generator sistem, saat kondisi stabil dan ketika kondisi tidak stabil :



**Gambar 4. 7** Respon Sudut Rotor (Case 4-50EE504) 0.68s

Gambar 4.7 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.68 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah mencapai  $-167.16^{\circ}$  di waktu 2.89 s pada 51G1 (8 MW-Area 50), akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) mampu kembali mempertahankan kestabilannya, dengan kenaikan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi  $91.63^{\circ}$  di waktu 3.29 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.



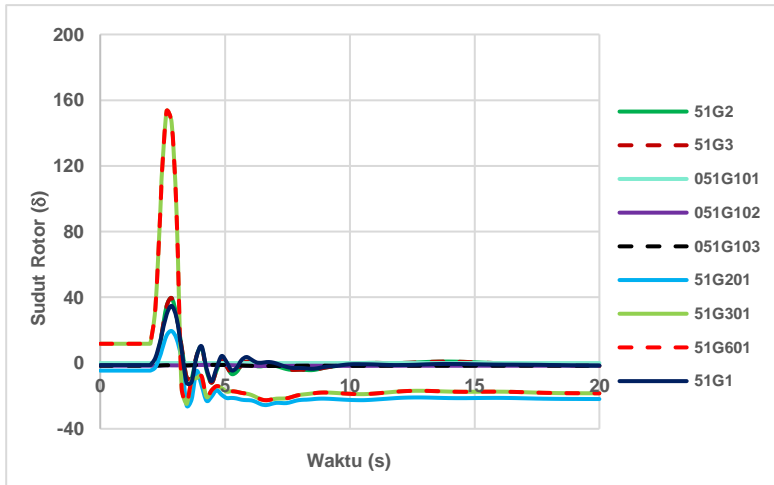
**Gambar 4. 8** Respon Sudut Rotor (Case 4-50EE504) 0.69s

Gambar 4.8 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.69 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G1 (8 MW-Area 50) semakin menurun mencapai  $-172.59^{\circ}$ , yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.68 s mencapai  $-167.16^{\circ}$  di waktu yang sama 2.89 s. Generator 51G1 (8 MW-Area 50) sempat mempertahankan ayunannya dengan mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan, akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) tidak mampu kembali mempertahankan kestabilannya di waktu 4.49 s, sudut rotor mencapai  $0^{\circ}$  atau bisa dikatakan 51G1 (8 MW-Area 50) *off* berhenti berkerja karena kehilangan sinkronisasinya.

#### 4.3.5 Studi Kasus Hubung Singkat Bus 500EE0001 13.8 kV (Case 5-500EE0001)

Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut pada bus 500EE0001. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu

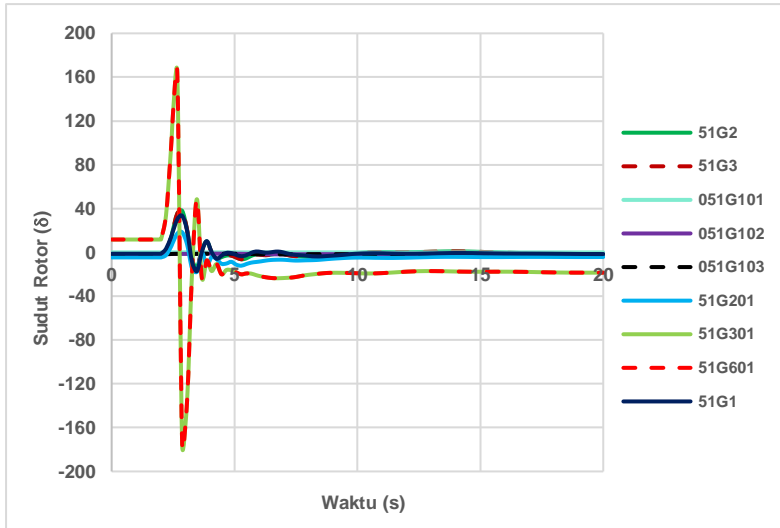
pemutusan kondisi sistem stabil pada 0.45 s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 0.46 s, setelah gangguan. Berikut plot grafik respon parameter sudut rotor generator - generator sistem, saat kondisi stabil dan ketika kondisi tidak stabil :



**Gambar 4. 9** Respon Sudut Rotor (Case 5-500EE0001) 0.45s

Gambar 4.9 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.45 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga kenaikan tertinggi mencapai  $153.38^{\circ}$  di waktu 2.66 s pada 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) yang memiliki respon yang sama, akan tetapi kedua generator tersebut mampu kembali mempertahankan kestabilannya, dengan penurunan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi  $-24.92^{\circ}$  di waktu 3.46 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.





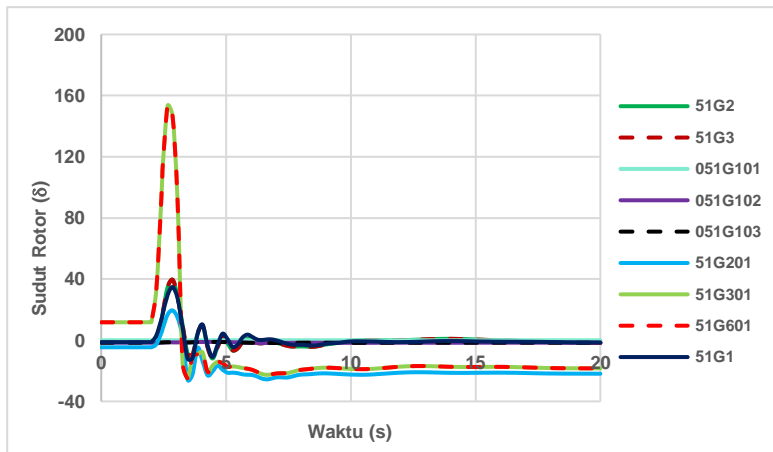
**Gambar 4. 10** Respon Sudut Rotor (Case 5-500EE0001) 0.46s

Gambar 4.10 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.46 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga kenaikan tertinggi yaitu 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) semakin meningkat mencapai  $163.73^{\circ}$ , yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.45 s mencapai  $153.38^{\circ}$  di waktu 2.67 s. Kedua generator 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500), sempat mempertahankan ayunannya dengan mengalami penurunan, akan tetapi respon yang ditunjukkan menurun dengan sangat signifikan hingga mencapai  $-175.81$  di waktu 2.87 s, yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.45 s hanya mencapai  $-24.92$  di waktu 3.46 s.

Sehingga, respon ini bisa analisis bahwa, sudut rotor mengayun dalam kondisi yang kritis dan 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) dapat dikategorikan menjadi *step-out* atau lepas sinkronisasinya dengan sistem. Semakin kritis sudut rotor mengayun, semakin besar akibat fatal yang bisa terjadi pada rotor generator tersebut yaitu kerusakan mekanik, patahnya rotor generator.

#### 4.3.6 Studi Kasus Hubung Singkat Bus 500EE0101 13.8 kV (Case 6-500EE0101)

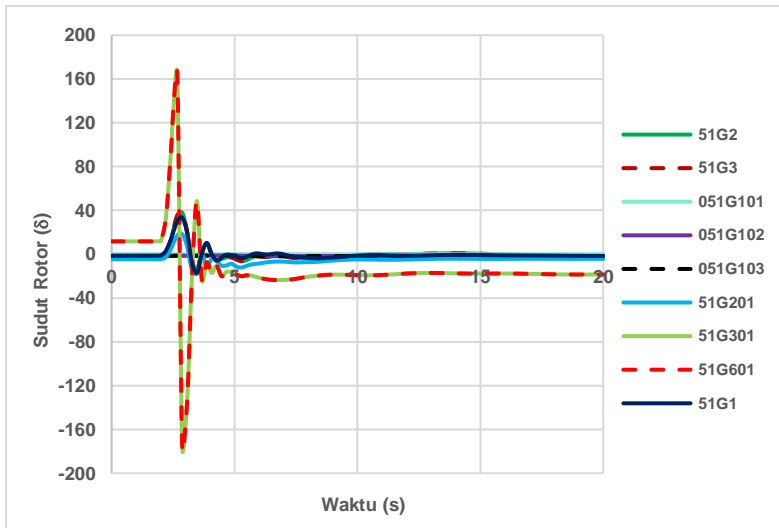
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut pada bus 500EE0101. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu pemutusan kondisi sistem stabil pada 0.45 s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 0.46 s, setelah gangguan. Berikut plot grafik respon parameter sudut rotor generator - generator sistem, saat kondisi stabil dan ketika kondisi tidak stabil :



**Gambar 4. 11** Respon Sudut Rotor (Case 6-500EE0101) 0.45s

Gambar 4.11 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.45 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga kenaikan tertinggi mencapai  $153.38^\circ$  di waktu 2.66 s pada 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) yang memiliki respon yang sama, akan tetapi kedua generator tersebut mampu kembali mempertahankan kestabilanya, dengan

penurunan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi  $-24.92^0$  di waktu 3.46 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.



**Gambar 4. 12** Respon Sudut Rotor (Case 6-500EE0101) 0.46s

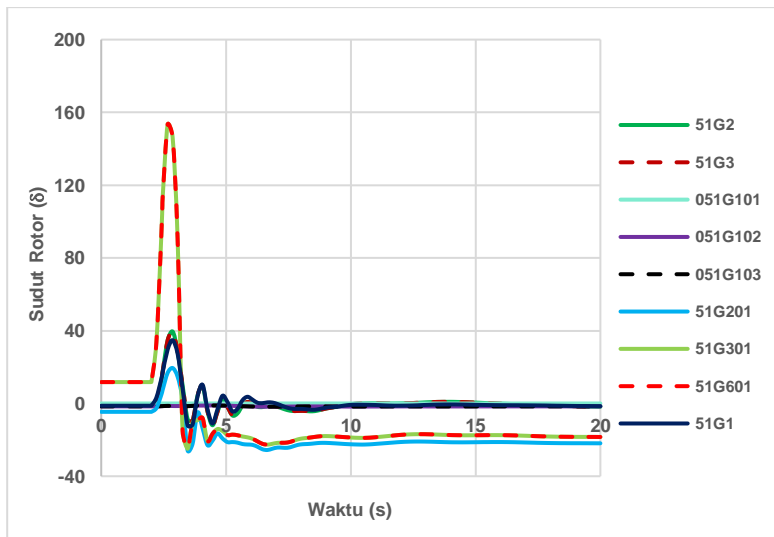
Gambar 4.12 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.46 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga kenaikan tertinggi yaitu 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) semakin meningkat mencapai  $163.73^0$ , yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.45 s mencapai  $153.38^0$  di waktu 2.67 s. Kedua generator 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500), sempat mempertahankan ayunannya dengan mengalami penurunan, akan tetapi respon yang ditunjukkan menurun dengan sangat signifikan hingga mencapai  $-175.81$  di waktu 2.87 s, yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.45 s hanya mencapai  $-24.92$  di waktu 3.46 s.

Sehingga, respon ini bisa analisis bahwa, sudut rotor mengayun dalam kondisi yang kritis dan 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) dapat dikategorikan menjadi *step-out* atau lepas sinkronisasinya dengan sistem. Semakin kritis sudut rotor mengayun,

semakin besar akibat fatal yang bisa terjadi pada rotor generator tersebut yaitu kerusakan mekanik, patahnya rotor generator.

#### 4.3.7 Studi Kasus Hubung Singkat Bus 50EE2101 13.8 kV (Case 7-50EE2101)

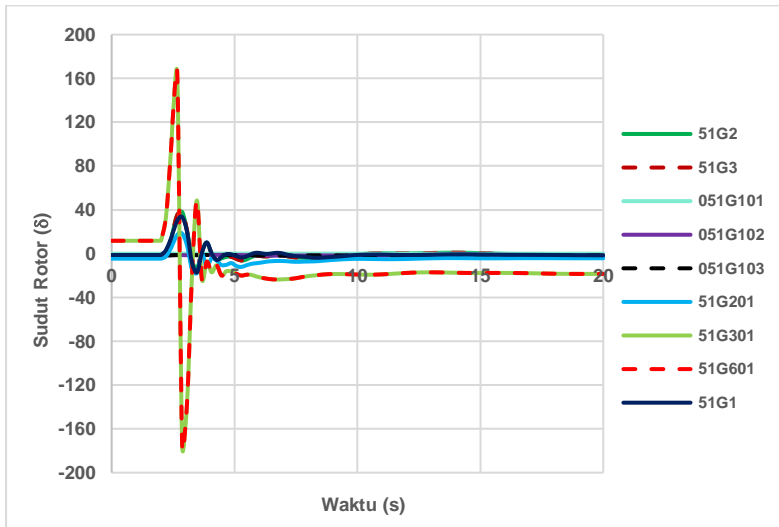
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut pada bus 50EE2101. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu pemutusan kondisi sistem stabil pada 0.45 s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 0.46 s, setelah gangguan. Berikut plot grafik respon parameter sudut rotor generator - generator sistem, saat kondisi stabil dan ketika kondisi tidak stabil :



**Gambar 4. 13** Respon Sudut Rotor (Case 7-50EE2101) 0.45s

Gambar 4.13 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.45 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem

sempat mengalami osilasi, hingga kenaikan tertinggi mencapai  $153.38^{\circ}$  di waktu 2.66 s pada 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) yang memiliki respon yang sama, akan tetapi kedua generator tersebut mampu kembali mempertahankan kestabilanya, dengan penurunan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi  $-24.92^{\circ}$  di waktu 3.46 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.



**Gambar 4. 14** Respon Sudut Rotor (Case 7-50EE2101) 0.46s

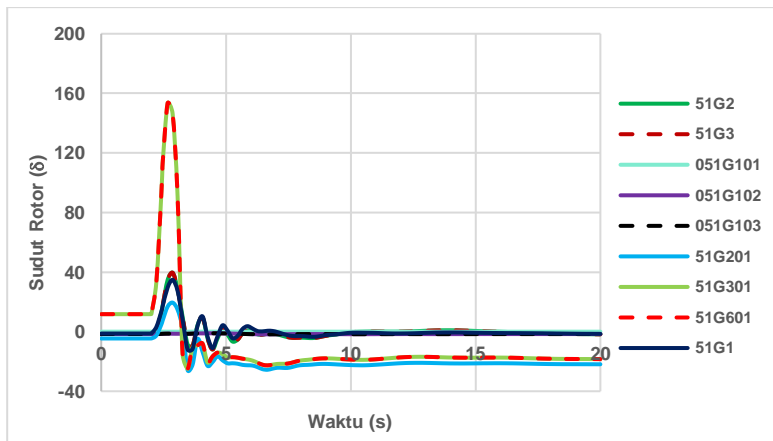
Gambar 4.14 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.46 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga kenaikan tertinggi yaitu 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) semakin meningkat mencapai  $163.73^{\circ}$ , yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.45 s mencapai  $153.38^{\circ}$  di waktu 2.67 s. Kedua generator 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500), sempat mempertahankan ayunannya dengan mengalami penurunan, akan tetapi respon yang ditunjukkan menurun dengan sangat signifikan hingga mencapai  $-175.81$  di waktu 2.87

s, yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.45 s hanya mencapai -24.920 di waktu 3.46 s.

Sehingga, respon ini bisa analisis bahwa, sudut rotor mengayun dalam kondisi yang kritis dan 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) dapat dikategorikan menjadi *step-out* atau lepas sinkronisasinya dengan sistem. Semakin kritis sudut rotor mengayun, semakin besar akibat fatal yang bisa terjadi pada rotor generator tersebut yaitu kerusakan mekanik, patahnya rotor generator.

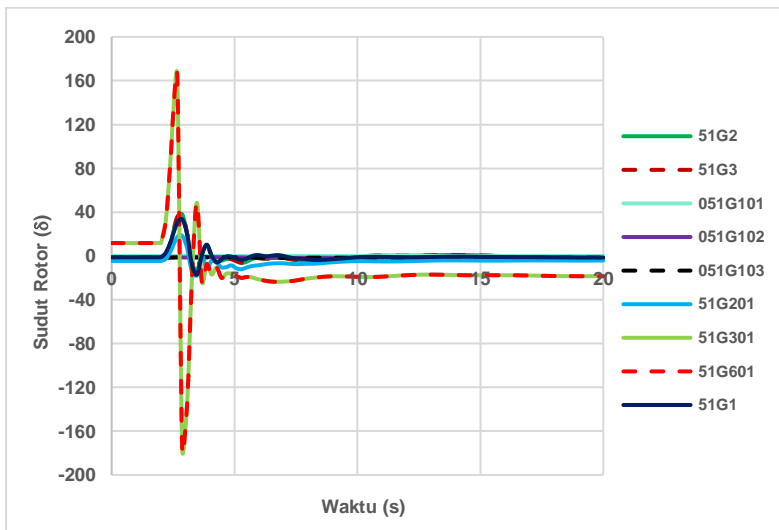
#### 4.3.8 Studi Kasus Hubung Singkat Bus 500EE0002 13.8 kV (Case 8-500EE0002)

Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut pada bus 500EE0002. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu pemutusan kondisi sistem stabil pada 0.45 s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 0.46 s, setelah gangguan. Berikut plot grafik respon parameter sudut rotor generator - generator sistem, saat kondisi stabil dan ketika kondisi tidak stabil :



**Gambar 4. 15** Respon Sudut Rotor (Case 8-500EE0002) 0.45s

Gambar 4.15 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.45 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga kenaikan tertinggi mencapai  $153.38^{\circ}$  di waktu 2.66 s pada 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) yang memiliki respon yang sama, akan tetapi kedua generator tersebut mampu kembali mempertahankan kestabilanya, dengan penurunan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi  $-24.92^{\circ}$  di waktu 3.46 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.



**Gambar 4. 16** Respon Sudut Rotor (Case 8-500EE0002) 0.46s

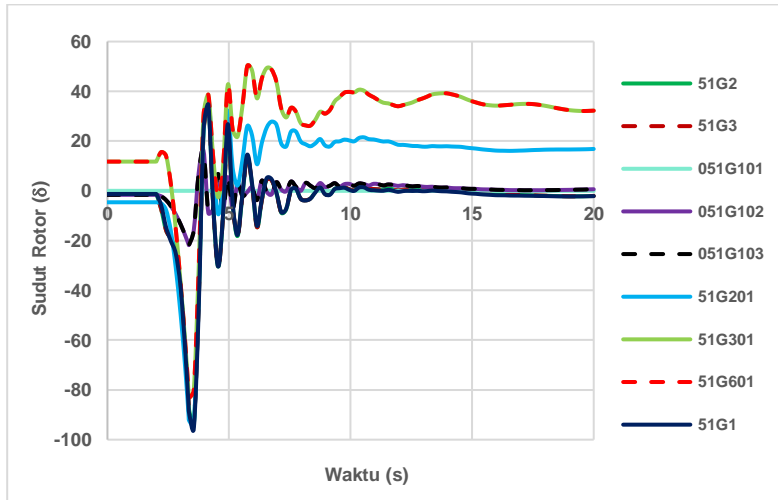
Gambar 4.16 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.46 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga kenaikan tertinggi yaitu 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) semakin meningkat mencapai  $163.73^{\circ}$ , yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.45 s mencapai  $153.38^{\circ}$  di waktu 2.67 s. Kedua generator 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500), sempat mempertahankan ayunannya

dengan mengalami penurunan, akan tetapi respon yang ditunjukkan menurun dengan sangat signifikan hingga mencapai -175.81 di waktu 2.87 s, yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 0.45 s hanya mencapai -24.920 di waktu 3.46 s.

Sehingga, respon ini bisa analisis bahwa, sudut rotor mengayun dalam kondisi yang kritis dan 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601(8 MW-Area 500) dapat dikategorikan menjadi *step-out* atau lepas sinkronisasinya dengan sistem. Semakin kritis sudut rotor mengayun, semakin besar akibat fatal yang bisa terjadi pada rotor generator tersebut yaitu kerusakan mekanik, patahnya rotor generator.

#### 4.3.9 Studi Kasus Hubung Singkat Bus 05EE0101A 13.8 kV (Case 9-05EE0101A)

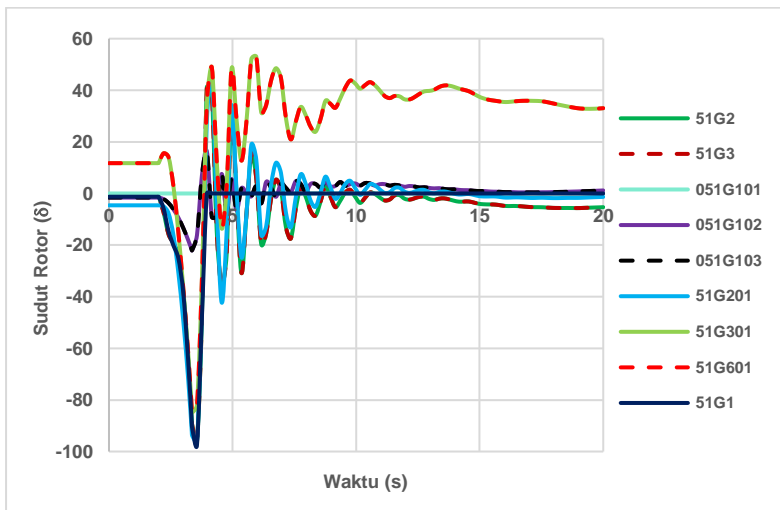
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut pada bus 05EE0101A. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu pemutusan kondisi sistem stabil pada 1.34 s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 1.35 s, setelah gangguan. Berikut plot grafik respon parameter sudut rotor generator - generator sistem, saat kondisi stabil dan ketika kondisi tidak stabil :





**Gambar 4. 17** Respon Sudut Rotor (Case 9-05EE0101A) 1.34s

Gambar 4.17 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 1.34 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah mencapai  $-95.72^0$  di waktu 3.55 s pada 51G1 (8 MW-Area 50), akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) mampu kembali mempertahankan kestabilannya, dengan kenaikan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi  $34.56^0$  di waktu 4.15 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.



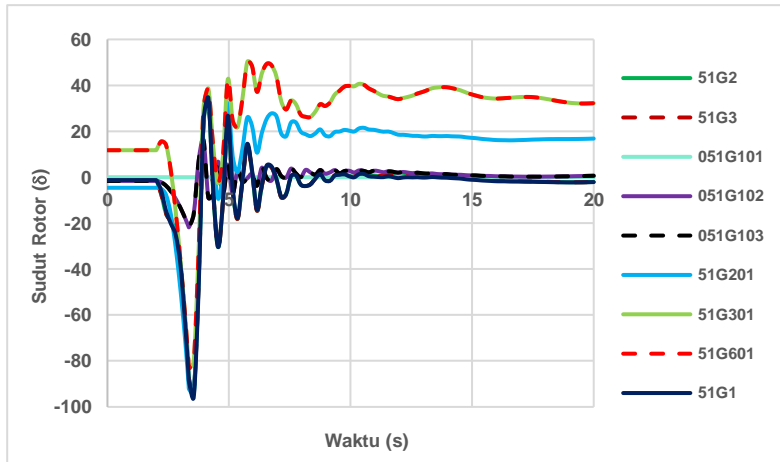
**Gambar 4. 18** Respon Sudut Rotor (Case 9-05EE0101A) 1.35s

Gambar 4.18 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 1.35 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G1 (8 MW-Area 50) semakin menurun mencapai  $-97.5^0$  di waktu 3.56 s, yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 1.34 s mencapai  $-95.72^0$  di waktu 3.55 s. Meskipun penurunan tidak terlalu signifikan, akan tetapi ketika

generator 51G1 (8 MW-Area 50) mengayun dengan mengalami kenaikan sudut rotor, sudut berhenti pada nilai  $0^0$  secara tiba - tiba di waktu 3.96 s. Sehingga bisa dikatakan bahwa, 51G1 (8 MW-Area 50) tidak mempertahankan kestabilannya atau *off* berhenti bekerja karena kehilangan sinkronisasinya.

#### 4.3.10 Studi Kasus Hubung Singkat Bus 05EE0101B 13.8 kV (Case 10-05EE0101B)

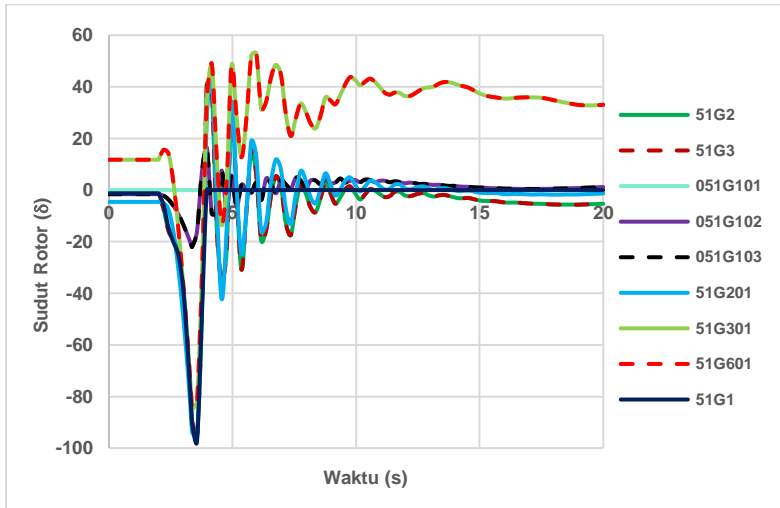
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut pada bus 05EE0101B. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu pemutusan kondisi sistem stabil pada 1.34 s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 1.35 s, setelah gangguan. Berikut plot grafik respon parameter sudut rotor generator - generator sistem, saat kondisi stabil dan ketika kondisi tidak stabil :



**Gambar 4. 19** Respon Sudut Rotor (Case 10-05EE0101B) 1.34s

Gambar 4.19 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 1.34 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem

sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah mencapai  $-95.72^0$  di waktu 3.55 s pada 51G1 (8 MW-Area 50), akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) mampu kembali mempertahankan kestabilannya, dengan kenaikan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi  $34.56^0$  di waktu 4.15 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.

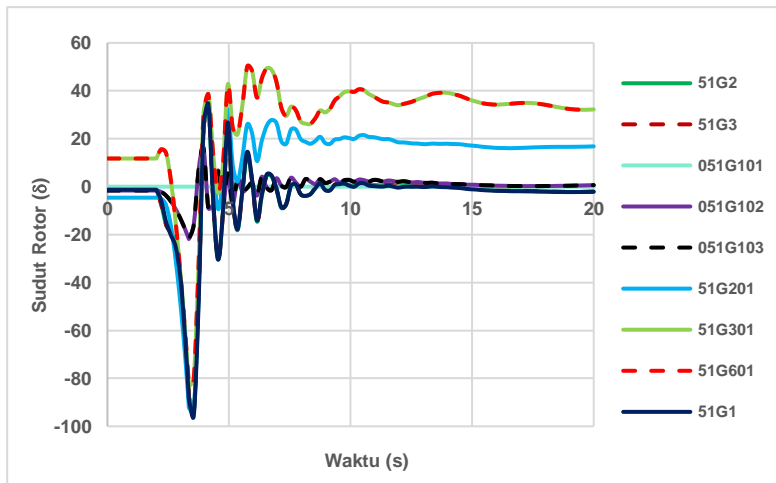


**Gambar 4. 20** Respon Sudut Rotor (Case 10-05EE0101B) 1.35s

Gambar 4.20 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 1.35 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G1 (8 MW-Area 50) semakin menurun mencapai  $-97.5^0$  di waktu 3.56 s, yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 1.34 s mencapai  $-95.72^0$  di waktu 3.55 s. Meskipun penurunan tidak terlalu signifikan, akan tetapi ketika generator 51G1 (8 MW-Area 50) mengayun dengan mengalami kenaikan sudut rotor, sudut berhenti pada nilai  $0^0$  secara tiba - tiba di waktu 3.96 s. Sehingga bisa dikatakan bahwa, 51G1 (8 MW-Area 50) tidak mempertahankan kestabilannya atau *off* berhenti bekerja karena kehilangan sinkronisasinya.

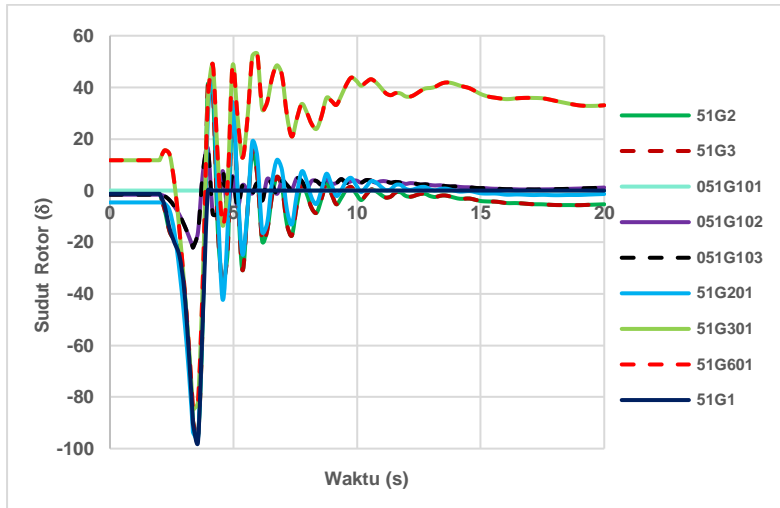
#### 4.3.11 Studi Kasus Hubung Singkat Bus 05EE0101C 13.8 kV (Case 11-05EE0101C)

Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut pada bus 05EE0101C. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu pemutusan kondisi sistem stabil pada 1.34 s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 1.35 s, setelah gangguan. Berikut plot grafik respon parameter sudut rotor generator - generator sistem, saat kondisi stabil dan ketika kondisi tidak stabil :



**Gambar 4. 21** Respon Sudut Rotor (Case 11-05EE0101C) 1.34s

Gambar 4.21 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 1.34 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah mencapai  $-95.72^{\circ}$  di waktu 3.55 s pada 51G1 (8 MW-Area 50), akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) mampu kembali mempertahankan kestabilannya, dengan kenaikan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi  $34.56^{\circ}$  di waktu 4.15 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.



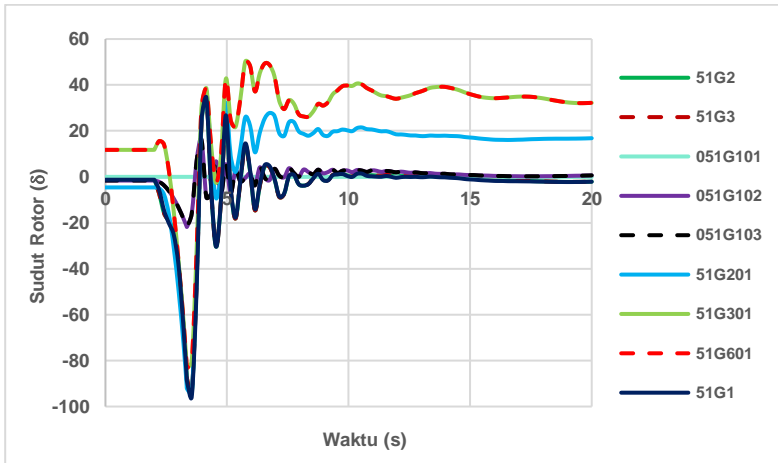
**Gambar 4. 22** Respon Sudut Rotor (Case 11-05EE0101C) 1.35s

Gambar 4.22 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 1.35 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G1 (8 MW-Area 50) semakin menurun mencapai  $-97.5^0$  di waktu 3.56 s, yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 1.34 s mencapai  $-95.72^0$  di waktu 3.55 s. Meskipun penurunan tidak terlalu signifikan, akan tetapi ketika generator 51G1 (8 MW-Area 50) mengayun dengan mengalami kenaikan sudut rotor, sudut berhenti pada nilai  $0^0$  secara tiba - tiba di waktu 3.96 s. Sehingga bisa dikatakan bahwa, 51G1 (8 MW-Area 50) tidak mempertahankan kestabilannya atau *off* berhenti bekerja karena kehilangan sinkronisasinya.

#### 4.3.12 Studi Kasus Hubung Singkat Bus 05EE0101D 13.8 kV (Case 12-05EE0101D)

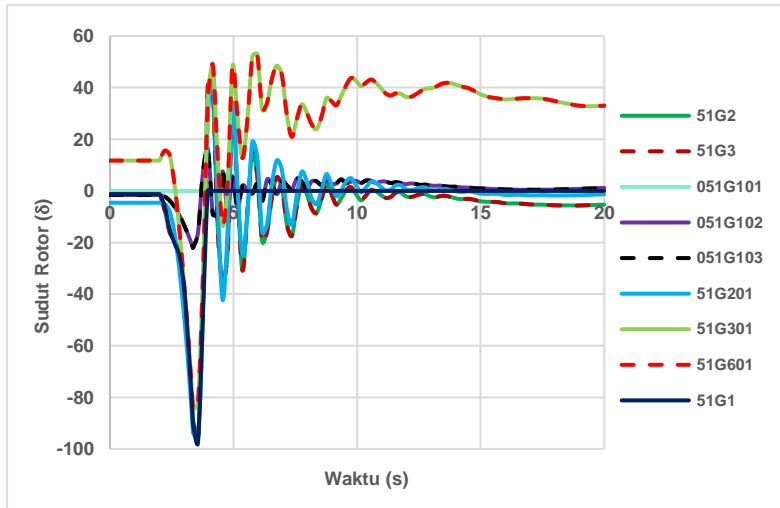
Pada studi kasus ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis kestabilan transien saat terjadinya event gangguan hubung singkat, lalu bersamaan event untuk menghilangkan gangguan tersebut

pada bus 05EE0101D. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Dari hasil analisis simulasi gangguan ini didapatkan waktu pemutusan kondisi sistem stabil pada 1.34 s, sedangkan untuk waktu pemutusan tidak stabil pada 1.35 s, setelah gangguan. Berikut plot grafik respon parameter sudut rotor generator - generator sistem, saat kondisi stabil dan ketika kondisi tidak stabil :



**Gambar 4. 23** Respon Sudut Rotor (Case 12-05EE0101D) 1.34s

Gambar 4.19 dapat dianalisis bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 1.34 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah mencapai  $-95.72^0$  di waktu 3.55 s pada 51G1 (8 MW-Area 50), akan tetapi 51G1 (8 MW-Area 50) mampu kembali mempertahankan kestabilannya, dengan kenaikan sudut yang tidak terlalu signifikan yaitu menjadi  $34.56^0$  di waktu 14.15 s, hingga respon mencapai kondisi *steady state*.



**Gambar 4. 24** Respon Sudut Rotor (Case 12-05EE0101D) 1.35s

Gambar 4.20 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 1.35 s, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G1 (8 MW-Area 50) semakin menurun mencapai  $-97.5^{\circ}$  di waktu 3.56 s, yang sebelumnya dengan waktu pemutusan 1.34 s mencapai  $-95.72^{\circ}$  di waktu 3.55 s. Meskipun penurunan tidak terlalu signifikan, akan tetapi ketika generator 51G1 (8 MW-Area 50) mengayun dengan mengalami kenaikan sudut rotor, sudut berhenti pada nilai  $0^{\circ}$  secara tiba - tiba di waktu 3.96 s. Sehingga bisa dikatakan bahwa, 51G1 (8 MW-Area 50) tidak mempertahankan kestabilannya atau *off* berhenti bekerja karena kehilangan sinkronisasinya.

#### 4.3.13 Rekapitulasi Hasil Penentuan *Critical Clearing Time* (CCT)

**Tabel 4. 1** Rekapitulasi Hasil Penentuan CCT

Case	Type Bus	Area	ID Bus	CCT (s)
1	Bus Generator	Area 50	50EE501	0.68 - 0.69
2	Bus Generator		50EE502	0.68 - 0.69
3	Bus Generator		50EE503	0.68 - 0.69
4	Bus Sinkron		50EE504	0.68 - 0.69
5	Bus Generator	Area 500	500EE0001	0.45-0.46
6	Bus Generator		500EE0101	0.45-0.46
7	Bus Generator		50EE2101	0.45-0.46
8	Bus Sinkron		500EE0002	0.45-0.46
9	Bus Generator	Area 05	05EE0101A	1.34-1.35
10	Bus Generator		05EE0101B	1.34-1.35
11	Bus Generator		05EE0101C	1.34-1.35
12	Bus Sinkron		05EE0101D	1.34-1.35

#### 4.4 Evaluasi Setting Waktu Proteksi Eksisting Rele *Overcurrent* dengan Mempertimbangkan *Critical Clearing Time* (CCT)

Setting waktu proteksi eksisting rele *overcurrent* PT. Pertamina RU IV Cilacap kondisinya belum mempertimbangkan CCT dan sesuai dengan hasil analisa penentuan CCT dengan melakukan *transient stability assesment* pada sub bab 4.3 sebelumnya, evaluasi setting eksisting dapat ditentukan dengan bentuk rekomendasi yang paling tepat, sesuai dengan permasalahan setiap kasusnya. Sehingga pada sub bab ini akan dianalisa bentuk evaluasi yang tepat pada setting eksisting pada PT. Pertamina RU IV Cilacap yang diawali oleh pengolahan data setting eksisting, perbandingan setting eksisting dengan nilai CCT, dan diakhiri dengan rekomendasi yang sesuai untuk 12 kasus yang ada.



#### 4.4.1 Data Eksisting Setting Waktu Rele *Overcurrent*

Berikut data setting waktu rele *overcurrent* eksisting dan waktu operasi PT. Pertamina RU IV Cilacap :

**Tabel 4. 2** Data Setting Proteksi Rele Overcurrent Area 50

3 Phase-Fault Occur	ID	Lowset				Time Operation
		Curve	Iset	Tap	TDS	
50EE501	R52-11	Very Inverse	500	2.5	4	0.778s
50EE502	R52-21	Very Inverse	500	2.5	10	2.13s
50EE503	R52-31	Very Inverse	500	2.5	10	2.13s
50EE504	R52-12	Very Inverse	500	2.5	4	0.642s
	R52-22	Very Inverse	500	2.5	6	0.945s
	R52-32	Very Inverse	500	2.5	4	0.642s

**Tabel 4. 3** Data Setting Proteksi Rele Overcurrent Area 500

3-Phase Fault Occur	ID	Lowset				Highset			TOP
		Curve	Iset	Tap	TDS	Iset	Tap	Td	
500EE0001	R52-F1-1	ANSI - Extremely Inverse	528	2.64	15	6242	31.21	0.7	4.15s
500EE0101	R52-F12	Extremely Inverse	500	0.5	1.6	3600	3.6	0.7	0.8s
50EE2101	R52-E1-1	ANSI - Extremely Inverse	1200	6	10	3000	15	0.7	0.76s
500EE0002	R52-F2-1	ANSI - Extremely Inverse	500	2.5	8	4776	23.88	0.3	0.4s
	R52-F14	Extremely Inverse	450	0.5	1.4	1100	1.1	0.3	0.4s
	R52-E2-1	Very Inverse	1200	6	0.91	3998	19.99	0.3	0.1288s

**Tabel 4. 4** Data Setting Proteksi Rele Overcurrent Area 05

3-Phase Fault Occur	ID	Lowset				Time Operation
		Curve	Iset	Tap	TDS	
05EE0101A	R52-A1	Very Inverse	1200	6	8.59	1.78s
05EE0101B	R52-B1	Very Inverse	1200	6	8.59	1.78s
05EE0101C	R52-C1	Very Inverse	1200	6	8.59	1.78s
05EE0101D	R52-A2	Very Inverse	20	0.1	0.5	0.1331s
	R52-B2	Very Inverse	1200	6	2	0.346s
	R52-C2	Very Inverse	1200	6	2.5	0.394s

Pada table yang berlabel hijau pada kolom *time operation*, merupakan 12 kasus yang akan dibandingkan dengan nilai CCT yang didapat.

#### 4.4.2 Perbandingan Setting Proteksi Eksisting dengan *Critical Clearing Time*

Dengan melakukan perbandingan kedua nilai tersebut antara setting proteksi eksisting dengan CCT, akan didapatkan status dan konklusi apakah setting eksisting sudah tepat mempertimbangkan *transient stability assesment* atau belum tepat. Setting waktu eksisting dikatakan sudah sesuai ketika setting proteksi yang digunakan, waktu operasinya nilainya dibawah nilai critical clearing time yang didapat atau ( $TOP < CCT$ ). Berikut dibawah ini tabel data perbandingan setting waktu proteksi eksisting rele *overcurrent* dengan CCT dari hasil *transient stability assesment* yang di dapat pada PT. Pertamina RU IV.

**Tabel 4. 5** Perbandingan CCT dengan Setting OCR Eksisting

Case	Type Bus	Area	ID Bus	TOP Setting Eksisting	CCT (s)	Status
1	Bus Generator	Area 50	50EE501	0.778s	0.68 - 0.69	Tidak Aman
2	Bus Generator		50EE502	2.13s	0.68 - 0.69	Tidak Aman
3	Bus Generator		50EE503	2.13s	0.68 - 0.69	Tidak Aman
4	Bus Sinkron		50EE504	0.945s	0.68 - 0.69	Tidak Aman
5	Bus Generator	Area 500	500EE0001	4.15s	0.45-0.46	Tidak Aman
6	Bus Generator		500EE0101	0.8s	0.45-0.46	Tidak Aman
7	Bus Generator		50EE2101	0.76s	0.45-0.46	Tidak Aman
8	Bus Sinkron		500EE0002	0.4s	0.45-0.46	Aman
9	Bus Generator	Area 05	05EE0101A	1.78s	1.34-1.35	Tidak Aman
10	Bus Generator		05EE0101B	1.78s	1.34-1.35	Tidak Aman
11	Bus Generator		05EE0101C	1.78s	1.34-1.35	Tidak Aman
12	Bus Sinkron		05EE0101D	0.394s	1.34-1.35	Aman

Dari hasil perbandingan setting waktu proteksi eksisting rele *overcurrent* dengan CCT pada tabel 4.5, didapatkan beberapa status untuk setiap kasus yang dianalisa. Dari 12 kasus yang ada, 10 kasus membutuhkan rekomendasi yang tepat, hal ini dikarenakan setting waktu proteksi eksisting rele OCR melebihi nilai CCT yang didapat. Kasus No. 8 dan No. 12 merupakan kasus - kasus yang statusnya sesuai atau bisa dikatakan setting waktu eksisting sudah dikategorikan mempertimbangkan *transient stability assesment*, karena waktu operasinya dibawah nilai CCT.

#### 4.5 Rekomendasi Perbaikan Setting Proteksi Eksisting dengan Pertimbangan Transient Stability Assessment

Setelah setting pengamanan eksisting dibandingkan dengan CCT, terdapat 10 kasus dengan status yang tidak aman atau dibutuhkan rekomendasi yang tepat sesuai dengan permasalahannya. CCT merupakan waktu pemutusan kritis maksimal, jika waktu operasi pemutusannya dibawah waktu pemutusan kritisnya, sehingga bentuk rekomendasi yang paling tepat ialah menurunkan waktu operasi dibawah waktu CCT.

Rekomendasi dengan perbaikan setting berupa menurunkan waktu operasi pemutusan dapat dilakukan dengan dua cara beserta pertimbangannya, yaitu :

- a) Resetting waktu rele *overcurrent*  
Setting rele dapat diturunkan sesuai dengan kebutuhan, akan tetapi resetting yang dilakukan harus dipastikan tidak mengganggu *time grading* atau waktu interval, setting yang digunakan rele - rele *overcurrent* sebelumnya.
- b) Penggunaan rele differensial (87)  
Rele differensial merupakan rele dengan waktu sensing yang sangat cepat, dengan waktu sensing 1-3 cycle. Rele ini fungsi operasinya mendeteksi adanya gangguan dilingkup daerah yang dilindungi, dan tidak terkoordinasi dengan rele lain.

##### 4.5.1 Resetting Waktu Rele Overcurrent

Berikut data tabel resetting waktu rele *overcurrent* yang sudah mempertimbangkan CCT.

**Tabel 4. 6** Resetting Waktu OCR mempertimbangkan CCT

3 Phase-Fault Occur	ID	Lowset				Time Operation	CCT
		Curve	Iset	Tap	TDS		
50EE501	R52-11	Very Inverse	500	2.5	2	0.588s	0.68 - 0.69
50EE502	R52-21	Very Inverse	500	2.5	3	0.626s	0.68 - 0.69
50EE503	R52-31	Very Inverse	500	2.5	3	0.626s	0.68 - 0.69
50EE504	R52-12	Very Inverse	500	2.5	2	0.385s	0.68 - 0.69
05EE0101A	R52-A1	Very Inverse	1200	6	3.45	0.704s	1.34-1.35

05EE0101B	R52-B1	Very Inverse	1200	6	3.5	0.714s	1.34-1.35
05EE0101C	R52-C1	Very Inverse	1200	6	3.15	0.641s	1.34-1.35

#### 4.5.2 Penggunaan Rele Differential

Berikut data tabel setting waktu rele differential (87) sebagai bentuk rekomendasi evaluasi setting proteksi eksisting yang sudah mempertimbangkan CCT.

**Tabel 4. 7** Data Setting Waktu Rele Differensial

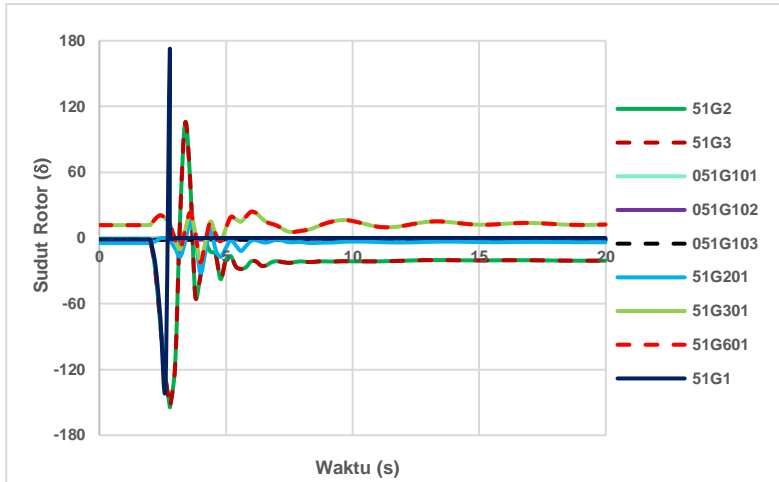
Fault Occur	ID	Time Setting	Time Operation	CCT
500EE0001	RD5	0.02s	0.12s	0.45-0.46
500EE0101	RD6	0.02s	0.12s	0.45-0.46
50EE2101	RD7	0.02s	0.08s	0.45-0.46

Untuk 3 kasus pada area 500, alasan digunakanya rele differential ialah setting eksisting sudah tidak dapat diturunkan waktu intervalnya, dengan me-*resetting* rele *overcurrent* untuk kasus tersebut dapat mengganggu hubungan antar rele - rele *overcurrent* sebelumnya yang digunakan.

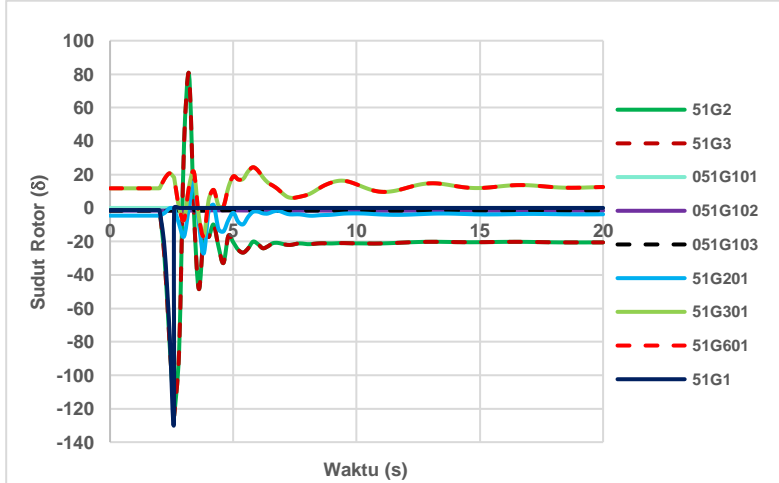
#### 4.5.3 Perbandingan Respon Parameter Kestabilan Menggunakan Hasil Evaluasi Resetting dengan Respon Setting Eksisting

##### 4.5.3.1 Respon Kestabilan (Case 1-50EE501)

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis respon parameter sudut rotor kestabilan saat menggunakan setting eksisting 0.778s pada bus 50EE501 dengan perbandingan menggunakan rekomendasi resetting hasil evaluasi 0.588s. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Berikut gambar plot kedua bentuk respon dibawah ini :



**Gambar 4. 25** Respon Sudut Rotor (Case 1-50EE501) 0.778s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting)



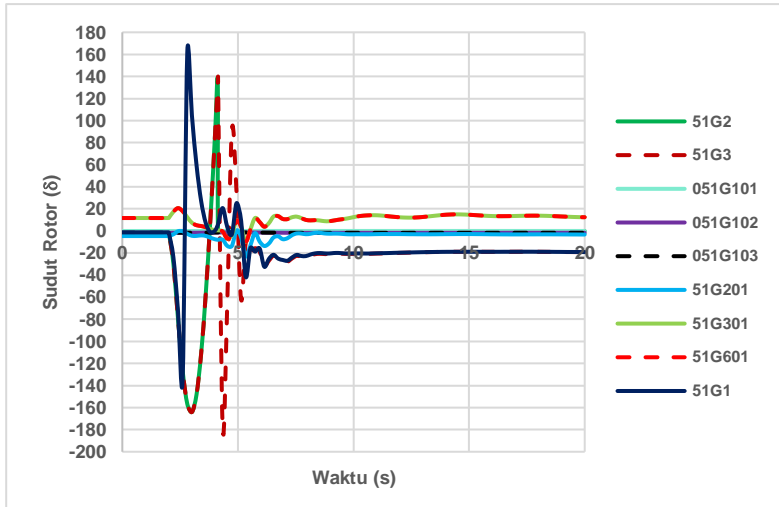
**Gambar 4. 26** Respon Sudut Rotor (Case 1-50EE501) 0.558s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting)

Gambar 4.25 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.778 s sebelum dievaluasi, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G2 (8 MW-Area 50) dan 51G3 (8 MW-Area 50) menurun mencapai  $-154.54^0$ , diwaktu yang 2.79 s. Simpangan terbesar dicapai oleh generator 51G1 (8 MW-Area 50)  $170.94^0$  di waktu 2.78s dekat dengan kondisi kritisnya hingga gangguan diputus. Kondisi waktu tersebut sudah melebihi CCT yang diperbolehkan sehingga respon saat ini terdapat generator yang lepas sinkron dari sistem dan dari segi mekanik generator hal ini dapat beresiko jika dibiarkan lama.

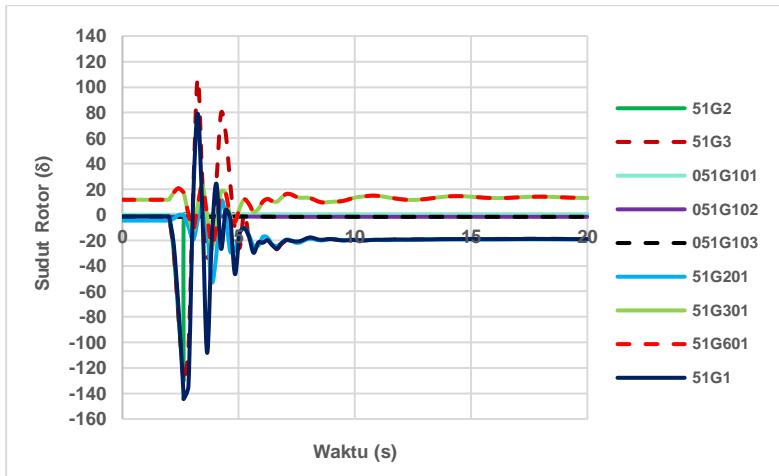
Gambar 4.26 menunjukkan respon kondisi kestabilan sistem yang stabil dan sudah mempertimbangkan CCT dengan rekomendasi resetting rele *overcurrent*. Terlihat pada gambar respon ayunan simpangan yang timbul oleh masing - masing generator termasuk rendah dan relatif kecil. Simpangan terendah dicapai oleh 51G1 (8 MW-Area 50)  $-131.31^0$  dan yang tertinggi dicapai oleh 51G2 (8 MW-Area 50) dan 51G3 (8 MW-Area 50)  $80.24^0$  diwaktu 3.2s. Respon kondisi ini juga cepat mencapai kondisi steady state.

#### **4.5.3.2 Respon Kestabilan (Case 2-50EE502)**

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis respon parameter sudut rotor kestabilan saat menggunakan setting eksisting 2.13s pada bus 50EE502 dengan perbandingan menggunakan rekomendasi resetting hasil evaluasi 0.626s. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Berikut gambar plot kedua bentuk respon dibawah ini :



**Gambar 4. 27** Respon Sudut Rotor (Case 2-50EE502) 2.13s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting)



**Gambar 4. 28** Respon Sudut Rotor (Case 2-50EE502) 0.626s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting)

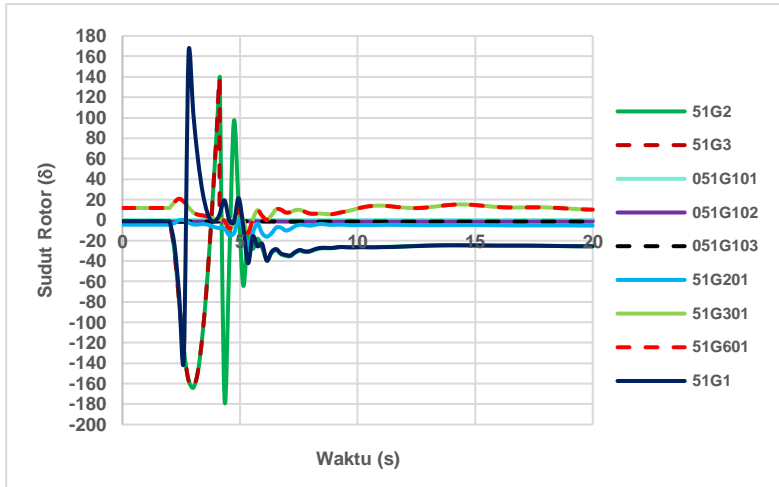


Gambar 4.27 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 2.13 s sebelum dievaluasi, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G3 (8 MW-Area 50) menurun mencapai  $-178.1^0$ , diwaktu yang 4.34s dekat dengan kondisi kritisnya begitu juga kondisi 51G2 (8 MW-Area 50) yang mencapai kondisi kritis  $-164.1$  diwaktu 3.01s hingga gangguan diputus. Simpangan terbesar dicapai oleh generator 51G1 (8 MW-Area 50)  $161.68^0$  di waktu 2.81s. Kondisi waktu tersebut sudah melebihi CCT yang diperbolehkan sehingga respon saat ini terdapat generator yang lepas sinkron dari sistem dan dari segi mekanik generator hal ini dapat beresiko jika dibiarkan lama.

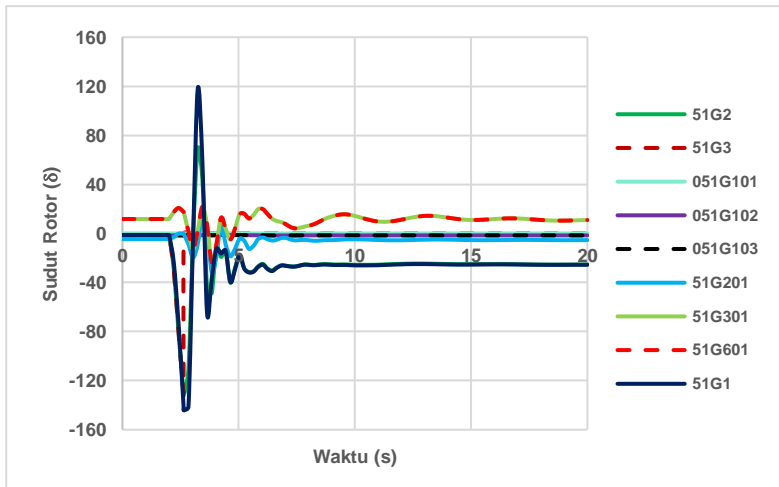
Gambar 4.28 menunjukkan respon kondisi kestabilan sistem yang stabil dan sudah mempertimbangkan CCT dengan rekomendasi resetting rele *overcurrent*. Terlihat pada gambar respon ayunan simpangan yang timbul oleh masing - masing generator termasuk rendah dan relatif kecil. Simpangan terendah dicapai oleh Generator 51G1 (8 MW-Area 50) mencapai  $-144.2^0$  diwaktu 2.64s dan simpangan tertinggi 51G3 (8 MW-Area 50)  $107.14^0$  diwaktu 3.24s. Respon kondisi ini juga cepat mencapai kondisi steady state.

#### **4.5.3.3 Respon Kestabilan (Case 3-50EE503)**

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis respon parameter sudut rotor kestabilan saat menggunakan setting eksisting 2.13s pada bus 50EE503 dengan perbandingan menggunakan rekomendasi resetting hasil evaluasi 0.626s. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Berikut gambar plot kedua bentuk respon dibawah ini :



**Gambar 4. 29** Respon Sudut Rotor (Case 3-50EE503) 2.13s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting)



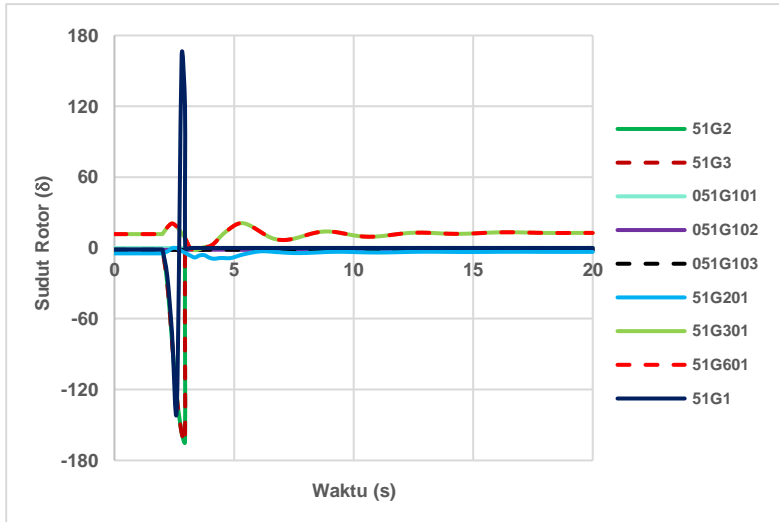
**Gambar 4. 30** Respon Sudut Rotor (Case 3-50EE503) 0.626s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting)

Gambar 4.29 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 2.13 s sebelum dievaluasi, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G2 (8 MW-Area 50) menurun mencapai  $-178.1^0$ , diwaktu yang 4.34s dekat dengan kondisi kritisnya begitu juga kondisi 51G3 (8 MW-Area 50) yang mencapai kondisi kritis  $-164.1$  diwaktu 3.01s hingga gangguan diputus. Simpangan terbesar dicapai oleh generator 51G1 (8 MW-Area 50)  $161.68^0$  di waktu 2.81s. Kondisi waktu tersebut sudah melebihi CCT yang diperbolehkan sehingga respon saat ini terdapat generator yang lepas sinkron dari sistem dan dari segi mekanik generator hal ini dapat beresiko jika dibiarkan lama.

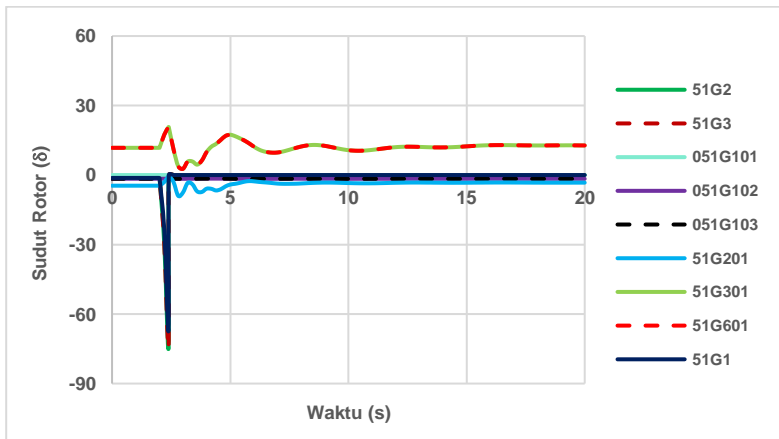
Gambar 4.30 menunjukkan respon kondisi kestabilan sistem yang stabil dan sudah mempertimbangkan CCT dengan rekomendasi resetting rele *overcurrent*. Terlihat pada gambar respon ayunan simpangan yang timbul oleh masing - masing generator termasuk rendah dan relatif kecil. Simpangan terendah dan tertinggi dicapai oleh Generator 51G1 (8 MW-Area 50) mendekati  $-144.2^0$  diwaktu 2.64s dan  $117.95^0$  diwaktu 3.24s. Respon kondisi ini juga cepat mencapai kondisi steady state.

#### **4.5.3.4 Respon Kestabilan (Case 4-50EE504)**

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis respon parameter sudut rotor kestabilan saat menggunakan setting eksisting 0.945s pada bus 50EE504 dengan perbandingan menggunakan rekomendasi resetting hasil evaluasi 0.385s. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Berikut gambar plot kedua bentuk respon dibawah ini :



**Gambar 4. 31** Respon Sudut Rotor (Case 4-50EE504) 0.945s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting)



**Gambar 4. 32** Respon Sudut Rotor (Case 4-50EE504) 0.385s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting)

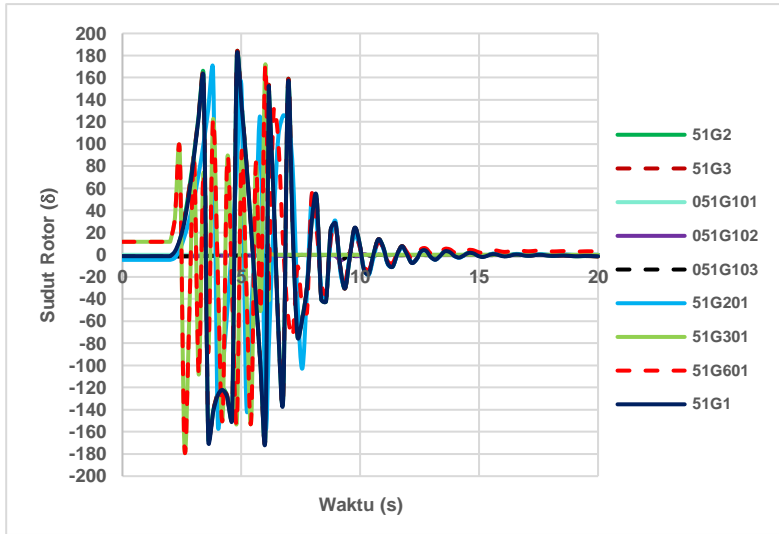
Gambar 4.31 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.945 s sebelum dievaluasi, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G2 (8 MW-Area 50) dan 51G3 (8 MW-Area 50) menurun mencapai  $-164.4^0$ , di waktu yang 2.95s dekat dengan kondisi kritisnya hingga gangguan diputus. Simpangan terbesar dicapai oleh generator 51G1 (8 MW-Area 50)  $161.68^0$  di waktu 2.81s dekat dengan kondisi kritisnya hingga gangguan diputus. Kondisi waktu tersebut sudah melebihi CCT yang diperbolehkan sehingga respon saat ini terdapat generator yang lepas sinkron dari sistem dan dari segi mekanik generator hal ini dapat beresiko jika dibiarkan lama.

Untuk studi kasus ini, perlu dipertimbangkannya kondisi generator saat terpisah dengan sistem interkoneksi area 50, 500 dan 05, ketika menjadi *islanding*. Secara stabilitas, ketika sistem masih terhubung, stabilitas sudut rotor generatornya masih dapat dianalisis kondisinya, yang menjadi *worst case* ketika kondisi sudah menunjukkan tidak stabil dan kemudian kondisi nya menjadi *islanding*, generator sistem *islanding* tidak mampu menanggung beban dibawahnya.

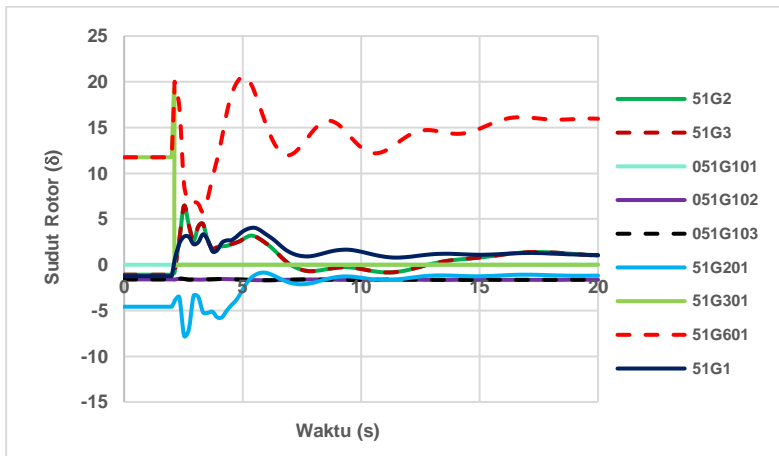
Gambar 4.32 menunjukkan respon kondisi kestabilan sistem yang stabil dan sudah mempertimbangkan CCT dengan rekomendasi resetting rele *overcurrent*. Terlihat pada gambar respon ayunan simpangan yang timbul oleh masing - masing generator termasuk rendah dan relatif kecil.

#### **4.5.3.5 Respon Kestabilan (Case 5-500EE0001)**

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis respon parameter sudut rotor kestabilan saat menggunakan setting eksisting 4.15s pada bus 500EE0001 dengan perbandingan menggunakan rekomendasi resetting hasil evaluasi 0.12s. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Berikut gambar plot kedua bentuk respon dibawah ini :



**Gambar 4. 33** Respon Sudut Rotor (Case 5-500EE0001) 4.15s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting)



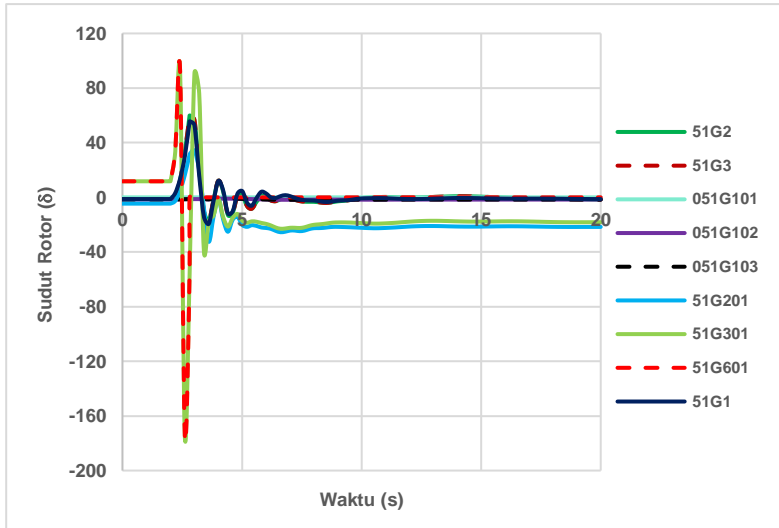
**Gambar 4. 34** Respon Sudut Rotor (Case 5-500EE0001) 0.12s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting)

Gambar 4.33 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 4.15s sebelum dievaluasi, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601 (8 MW-Area 500) menurun mencapai  $-175.27^0$ , diwaktu yang 2.61s dan kedua generator sempat mempertahankan ayunannya, menyimpang mengalami naik turun hingga berkali - kali, dekat dengan kondisi kritisnya. Simpangan terbesar dicapai oleh generator 51G1 (8 MW-Area 50)  $178.28^0$  di waktu 4.81s, simpangan berosilasi berkali - kali, dekat dengan kondisi kritisnya dan juga beberapa generator lain. Kondisi waktu tersebut sudah melebihi CCT yang diperbolehkan sehingga respon saat ini terdapat generator yang lepas sinkron dari sistem dan dari segi mekanik generator hal ini dapat beresiko jika dibiarkan lama.

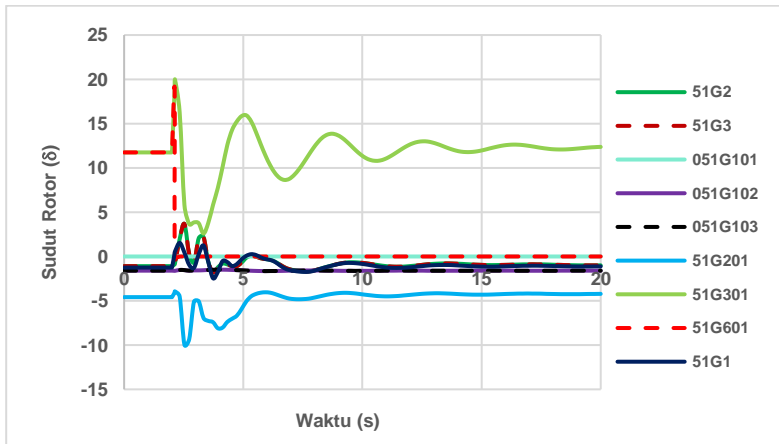
Gambar 4.34 menunjukkan respon kondisi kestabilan sistem yang stabil dan sudah mempertimbangkan CCT dengan rekomendasi resetting rele differensial. Terlihat pada gambar respon ayunan simpangan yang timbul oleh masing - masing generator termasuk rendah dan relatif kecil. Simpangan terendah dicapai oleh Generator 51G201 (20 MW-Area 500)  $-7.76^0$  diwaktu 2.53s dan simpangan tertinggi dicapai oleh generator 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601 (8 MW-Area 500)  $18.9^0$  diwaktu 2.12. Respon kondisi ini juga cepat mencapai kondisi steady state.

#### **4.5.3.6 Respon Kestabilan (Case 6-500EE0101)**

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis respon parameter sudut rotor kestabilan saat menggunakan setting eksisting 0.8s pada bus 500EE0101 dengan perbandingan menggunakan rekomendasi resetting hasil evaluasi 0.12s. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Berikut gambar plot kedua bentuk respon dibawah ini :



**Gambar 4. 35** Respon Sudut Rotor (Case 6-500EE0101) 0.8s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting)



**Gambar 4. 36** Respon Sudut Rotor (Case 6-500EE0101) 0.12s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting)

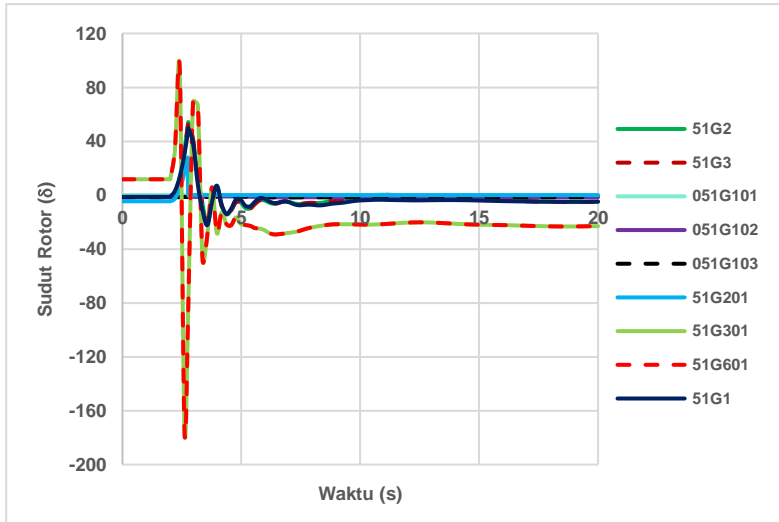


Gambar 4.35 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.8s sebelum dievaluasi, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601 (8 MW-Area 500) menurun mencapai  $-175.27^0$ , diwaktu yang 2.61s dekat dengan kondisi kritisnya. Simpangan terbesar pun dicapai oleh 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601 (8 MW-Area 500) juga,  $93.08^0$  di waktu 2.41s. Kondisi waktu tersebut sudah melebihi CCT yang diperbolehkan sehingga respon saat ini terdapat generator yang lepas sinkron dari sistem dan dari segi mekanik generator hal ini dapat beresiko jika dibiarkan lama.

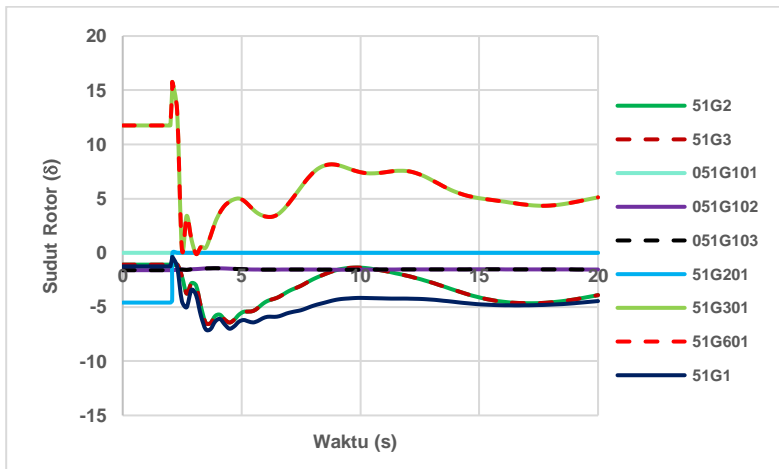
Gambar 4.36 menunjukkan respon kondisi kestabilan sistem yang stabil dan sudah mempertimbangkan CCT dengan rekomendasi resetting rele differensial. Terlihat pada gambar respon ayunan simpangan yang timbul oleh masing - masing generator termasuk rendah dan relatif kecil. Simpangan terendah dicapai oleh Generator 51G201 (20 MW-Area 500)  $-9.96^0$  diwaktu 2.53s dan simpangan tertinggi dicapai oleh generator 51G301 (8 MW-Area 500)  $20.01^0$  diwaktu 2.13. Respon kondisi ini juga cepat mencapai kondisi steady state.

#### **4.5.3.7 Respon Kestabilan (Case 7-50EE2101)**

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis respon parameter sudut rotor kestabilan saat menggunakan setting eksisting 0.76s pada bus 50EE2101 dengan perbandingan menggunakan rekomendasi resetting hasil evaluasi 0.12s. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Berikut gambar plot kedua bentuk respon dibawah ini :



**Gambar 4. 37** Respon Sudut Rotor (Case 7-50EE2101) 0.76s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting)



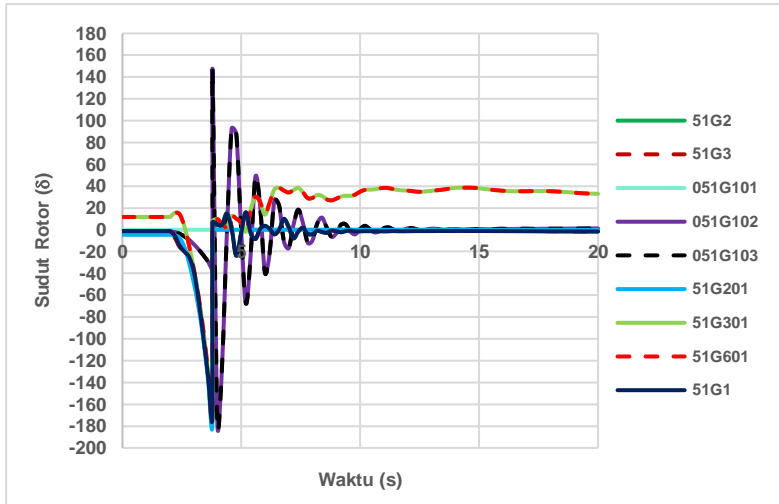
**Gambar 4. 38** Respon Sudut Rotor (Case 7-50EE2101) 0.08s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting)

Gambar 4.37 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 0.76s sebelum dievaluasi, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601 (8 MW-Area 500) menurun mencapai  $-175.27^{\circ}$ , di waktu yang 2.61s dekat dengan kondisi kritisnya. Simpangan terbesar pun dicapai oleh 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601 (8 MW-Area 500) juga,  $93.08^{\circ}$  di waktu 2.41s. Kondisi waktu tersebut sudah melebihi CCT yang diperbolehkan sehingga respon saat ini terdapat generator yang lepas sinkron dari sistem dan dari segi mekanik generator hal ini dapat beresiko jika dibiarkan lama.

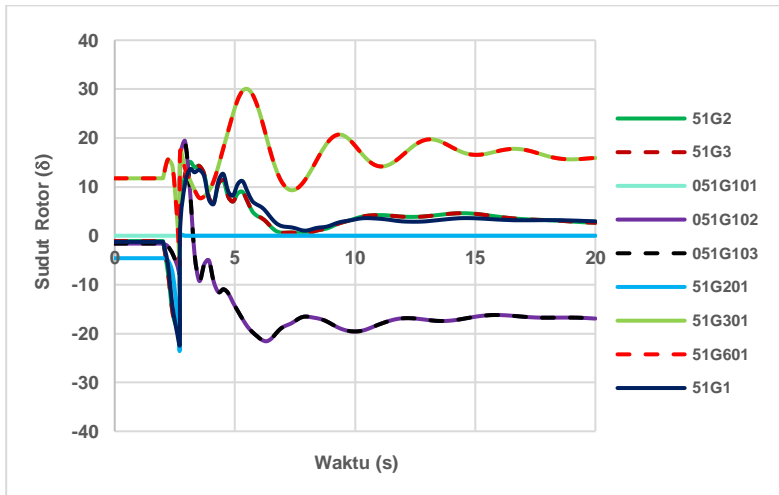
Gambar 4.38 menunjukkan respon kondisi kestabilan sistem yang stabil dan sudah mempertimbangkan CCT dengan rekomendasi resetting rele differensial. Terlihat pada gambar respon ayunan simpangan yang timbul oleh masing - masing generator termasuk rendah dan relatif kecil. Simpangan terendah dicapai oleh Generator 51G201 (20 MW-Area 500)  $-7.05^{\circ}$  di waktu 3.49s dan simpangan tertinggi dicapai oleh generator 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601 (8 MW-Area 500)  $15.74^{\circ}$  di waktu 2.09s. Respon kondisi ini juga cepat mencapai kondisi steady state.

#### **4.5.3.8 Respon Kestabilan (Case 9-05EE0101A)**

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis respon parameter sudut rotor kestabilan saat menggunakan setting eksisting 1.78s pada bus 05EE0101A dengan perbandingan menggunakan rekomendasi resetting hasil evaluasi 0.704s. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Berikut gambar plot kedua bentuk respon dibawah ini :



**Gambar 4. 39** Respon Sudut Rotor (Case 9-05EE0101A) 1.78s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting)



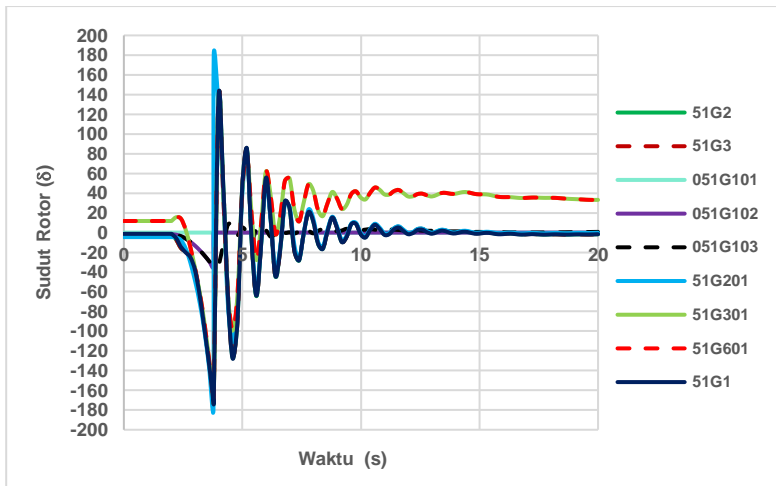
**Gambar 4. 40** Respon Sudut Rotor (Case 9-05EE0101A) 0.704s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting)

Gambar 4.39 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 1.78s sebelum dievaluasi, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G201 (20 MW-Area 500) menurun mencapai  $-178.6^0$ , diwaktu yang 3.78s dekat dengan kondisi kritisnya. Simpangan terbesar pun dicapai oleh 051G102 (20 MW-Area 05) dan 051G103 (20 MW-Area 05) ,  $145.78^0$  di waktu 3.79. Kedua generator ini mengalami osilasi secara kontinu menyimpang mengalami naik turun, dekat dengan kondisi kritisnya. Kondisi waktu tersebut sudah melebihi CCT yang diperbolehkan sehingga respon saat ini terdapat generator yang lepas sinkron dari sistem dan dari segi mekanik generator hal ini dapat beresiko jika dibiarkan lama. Untuk studi kasus ini, perlu dipertimbangkan nya pengganti atau back up generator dengan mode swing yang dapat menggantikan 051G101 sebagai swing, karena untuk studi kasus ini gangguan tepat pada bus generator swing tersebut.

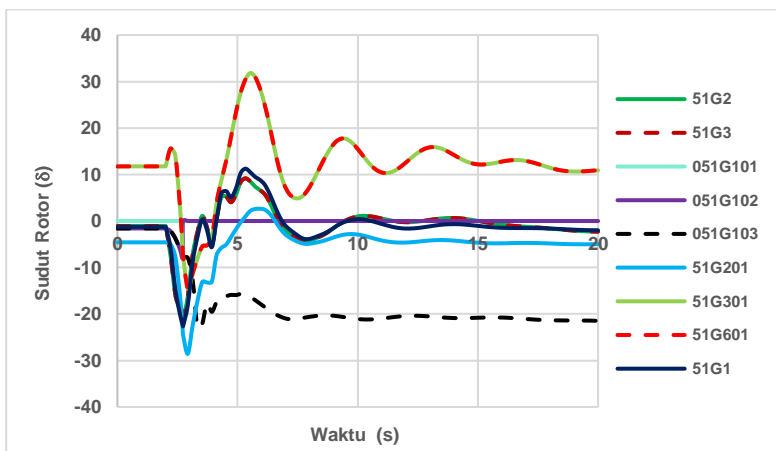
Gambar 4.40 menunjukkan respon kondisi kestabilan sistem yang stabil dan sudah mempertimbangkan CCT dengan rekomendasi resetting rele *overcurrent*. Terlihat pada gambar respon ayunan simpangan yang timbul oleh masing - masing generator termasuk rendah dan relatif kecil. Simpangan terendah dicapai oleh Generator 51G201 (20 MW-Area 500)  $-22.97^0$  diwaktu 2.71s dan simpangan tertinggi dicapai oleh generator 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601 (8 MW-Area 500)  $30.02^0$  diwaktu 5.52s. Respon kondisi ini juga cepat mencapai kondisi steady state.

#### **4.5.3.9 Respon Kestabilan (Case 10-05EE0101B)**

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis respon parameter sudut rotor kestabilan saat menggunakan setting eksisting 1.78s pada bus 05EE0101B dengan perbandingan menggunakan rekomendasi resetting hasil evaluasi 0.714s. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Berikut gambar plot kedua bentuk respon dibawah ini :



**Gambar 4. 41** Respon Sudut Rotor (Case 10-05EE0101B) 1.78s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting)



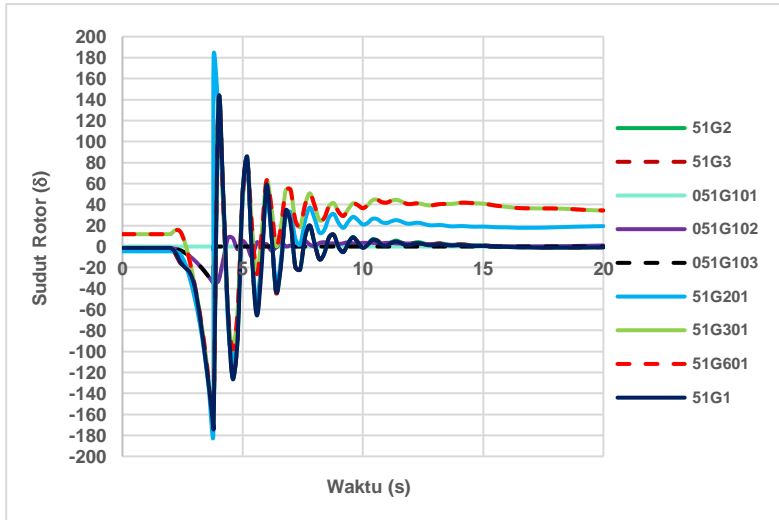
**Gambar 4. 42** Respon Sudut Rotor (Case 10-05EE0101B) 0.714s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting)

Gambar 4.41 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 1.78s sebelum dievaluasi, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G201 (20 MW-Area 500) menurun mencapai  $-178.6^0$ , diwaktu yang 3.78s dekat dengan kondisi kritisnya. Simpangan terbesar pun dicapai oleh 51G201 (20 MW-Area 500) juga,  $178.96^0$  di waktu 3.79s. 51G1 (8 MW-Area 50) mengalami osilasi secara kontinu menyimpang mengalami naik turun, dekat dengan kondisi kritisnya. Kondisi waktu tersebut sudah melebihi CCT yang diperbolehkan sehingga respon saat ini terdapat generator yang lepas sinkron dari sistem dan dari segi mekanik generator hal ini dapat beresiko jika dibiarkan lama.

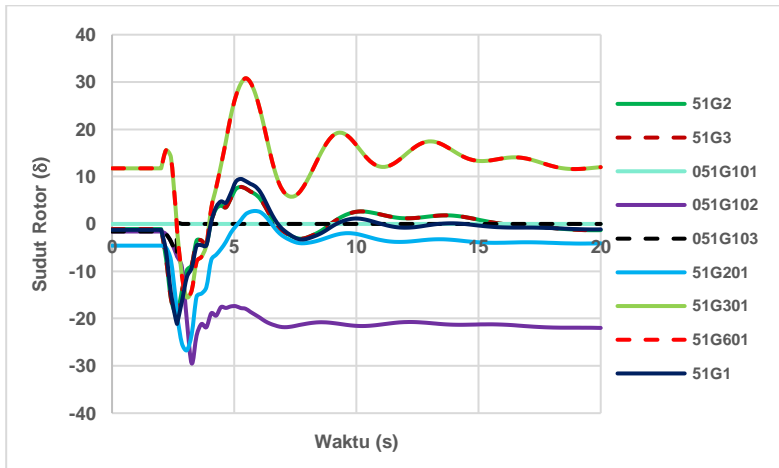
Gambar 4.42 menunjukkan respon kondisi kestabilan sistem yang stabil dan sudah mempertimbangkan CCT dengan rekomendasi resetting rele *overcurrent*. Terlihat pada gambar respon ayunan simpangan yang timbul oleh masing - masing generator termasuk rendah dan relatif kecil. Simpangan terendah dicapai oleh Generator 51G201 (20 MW-Area 500)  $-28.57^0$  diwaktu 2.93s dan simpangan tertinggi dicapai oleh generator 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601 (8 MW-Area 500)  $31.82^0$  diwaktu 5.53s. Respon kondisi ini juga cepat mencapai kondisi steady state.

#### **4.5.3.10 Respon Kestabilan (Case 11-05EE0101C)**

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil dari simulasi dan analisis respon parameter sudut rotor kestabilan saat menggunakan setting eksisting 1.78s pada bus 05EE0101C dengan perbandingan menggunakan rekomendasi resetting hasil evaluasi 0.641s. Short circuit terjadi pada 2 detik setelah sistem bekerja. Berikut gambar plot kedua bentuk respon dibawah ini :



**Gambar 4. 43** Respon Sudut Rotor (Case 11-05EE0101C) 1.78s Sebelum Dilakukan Evaluasi (Eksisting)



**Gambar 4. 44** Respon Sudut Rotor (Case 11-05EE0101B) 0.641s Setelah Dilakukan Evaluasi (Resetting)



Gambar 4.43 dapat dianalisis bahwa sistem tidak mampu mempertahankan kestabilannya ketika gangguan diisolir di waktu 1.78s sebelum dievaluasi, saat terjadi gangguan hubung singkat. Generator - generator sistem sempat mengalami osilasi, hingga penurunan terendah yaitu 51G201 (20 MW-Area 500) menurun mencapai  $-178.6^0$ , diwaktu yang 3.78s dekat dengan kondisi kritisnya. Simpangan terbesar pun dicapai oleh 51G201 (20 MW-Area 500) juga,  $178.96^0$  di waktu 3.79s. 51G1 (8 MW-Area 50) mengalami osilasi secara kontinu menyimpang mengalami naik turun, dekat dengan kondisi kritisnya. Kondisi waktu tersebut sudah melebihi CCT yang diperbolehkan sehingga respon saat ini terdapat generator yang lepas sinkron dari sistem dan dari segi mekanik generator hal ini dapat beresiko jika dibiarkan lama.

Gambar 4.44 menunjukkan respon kondisi kestabilan sistem yang stabil dan sudah mempertimbangkan CCT dengan rekomendasi resetting rele *overcurrent*. Terlihat pada gambar respon ayunan simpangan yang timbul oleh masing - masing generator termasuk rendah dan relatif kecil. Simpangan terendah dicapai oleh Generator 051G102 (20 MW-Area 05)  $-29.49^0$  diwaktu 3.26s dan simpangan tertinggi dicapai oleh generator 51G301 (8 MW-Area 500) dan 51G601 (8 MW-Area 500)  $30.79^0$  diwaktu 5.46s. Respon kondisi ini juga cepat mencapai kondisi steady state.

#### 4.5.4 Rekapitulasi Hasil Penentuan Rekomendasi

**Tabel 4. 8** Data Rekapitulasi Hasil Penentuan Rekomendasi

Case	Area	ID Bus	Rekomendasi	Resetting	CCT (s)	Status
1	Area 50	50EE501	Resetting Rele Overcurrent	0.588s	0.68 - 0.69	Aman
2		50EE502	Resetting Rele Overcurrent	0.626s	0.68 - 0.69	Aman
3		50EE503	Resetting Rele Overcurrent	0.626s	0.68 - 0.69	Aman
4		50EE504	Resetting Rele Overcurrent	0.385s	0.68 - 0.69	Aman
5	Area 500	500EE0001	Penggunaan Rele Differential	0.12s	0.45-0.46	Aman
6		500EE0101	Penggunaan Rele Differential	0.12s	0.45-0.46	Aman
7		50EE2101	Penggunaan Rele Differential	0.08s	0.45-0.46	Aman
9	Area 05	05EE0101A	Resetting Rele Overcurrent	0.704s	1.34-1.35	Aman
10		05EE0101B	Resetting Rele Overcurrent	0.714s	1.34-1.35	Aman
11		05EE0101C	Resetting Rele Overcurrent	0.641s	1.34-1.35	Aman

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan simulasi dan *Transient Stability Assessment* sebagai bahan evaluasi setting waktu rele pengaman pada PT. Pertamina RU IV Cilacap, dapat diambil kesimpulan, sebagai berikut :

- a) Kondisi *initial* sistem kelistrikan, aliran daya, pola pengoperasian, konfigurasi sistem, parameter - parameter peralatan, setting kontroler governor dan exciter generator yang digunakan sangat berpengaruh terhadap respon parameter kestabilan yang dianalisis sebagai bahan penentuan CCT.
- b) Sesuai hasil respon parameter kestabilan yang didapat, semakin besar magnitudo dan lama durasi gangguan yang terjadi, semakin besar pula respon menunjukkan kondisi tidak stabil.
- c) Dari 12 macam kasus evaluasi setting waktu rele pengaman dengan CCT, terdapat 10 kasus yang dapat menyebabkan kondisi sistem kelistrikan tidak aman atau belum memenuhi nilai *critical clearing time* ( $TOP < CCT$ ), sehingga dibutuhkan rekomendasi evaluasi yang sesuai.
- d) Nilai CCT yang didapat dari 4 kasus pada area 05, yang memiliki generator berkapasitas besar 20 MW yang seragam bernilai lebih baik dibanding nilai CCT pada area 50 dan 500, yang memiliki generator berkapasitas lebih rendah.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan kesimpulan yang telah diberikan, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

- a) Evaluasi yang dilakukan merekomendasikan untuk penggunaan rele differensial yang mana dapat mengisolir gangguan dengan cepat 1-3 cycle dan settingnya sendiri tidak mengganggu setting koordinasi yang digunakan, sehingga penggunaanya dapat mengamankan secara spesifik.
- b) *Transient Stability Assessment* dibutuhkan untuk menganalisa kestabilan sistem dan menentukan CCT, sehingga sebaiknya CCT dapat dipertimbangkan sebagai bahan evaluasi perbaikan setting waktu rele pengaman yang digunakan pada plant yang sebenarnya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

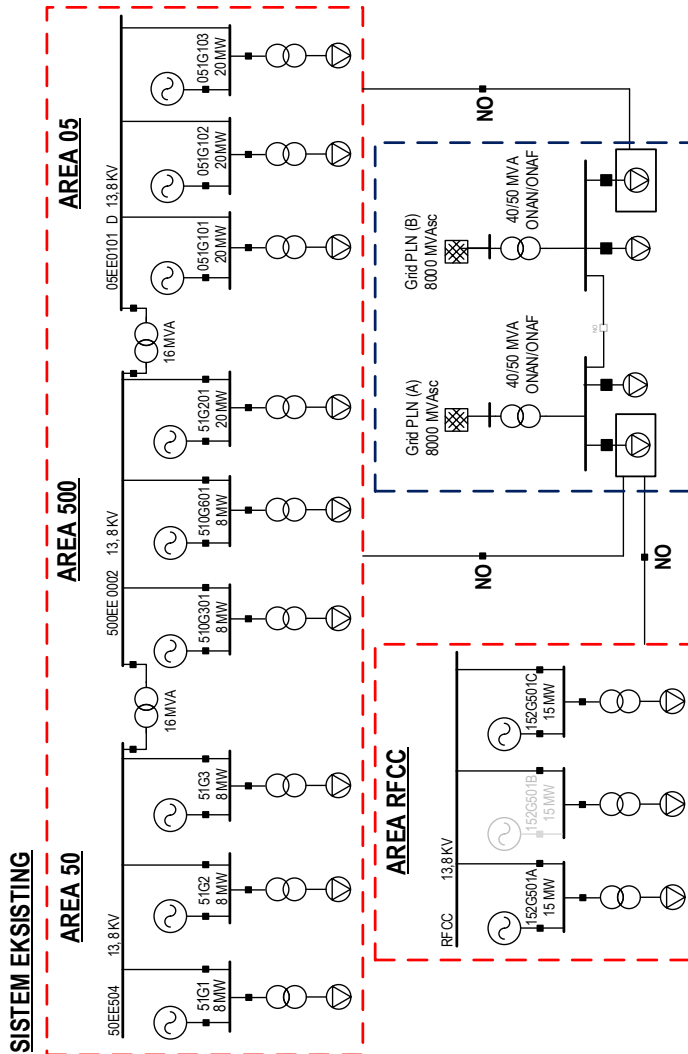
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, "Definition and Classification of Power System Stability", IEEE Transactions on Power system , vol. 19, no. 2, may 2004.
- [2] IEEE, "Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants", 1987. IEEE Std C37.106-2003 (Revision of ANSI/IEEE C37.106-1987).
- [3] J. J. Grainger and W. D. Stevenson, Power system analysis. New York: McGraw-Hill, 1994.
- [4] P. Kundur," Power System Stability and Control," McGraw-Hill, 1994
- [5] H. Saadat, Power System Analysis. United State of America: The McGraw-Hill 1999.
- [6] J. D. Glover, M. S. Sarma, and T. J. Overbye, Power System Analysis and Design. United States of America: Chris Carson, 2008.
- [7] R. F. Wijnarko, "Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. Pertamina RU IV Cilacap Akibat Integrasi dengan PLN," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [8] S. Atmaja, "Perhitungan Critical Clearing Time dengan Menggunakan Metode Time Domain Simulation," J. Tek. ITS, 2012.
- [9] M. M. I. Fathoni, "Analisis Setting Waktu Rele Pengaman Di PT. Pupuk Sriwidjaja Dengan Mempertimbangkan Transient Stability Assessment," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [10] S. d. F. Goncalves, "Investigating The Dynamic Performance of Generator-Pole-Slip Protection," Master, Power and Energy Systems, University of KwaZulu-Natal, South Africa, 2013.
- [11] S. J. Chapman, Electric Machinery Fundamentals. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2012.

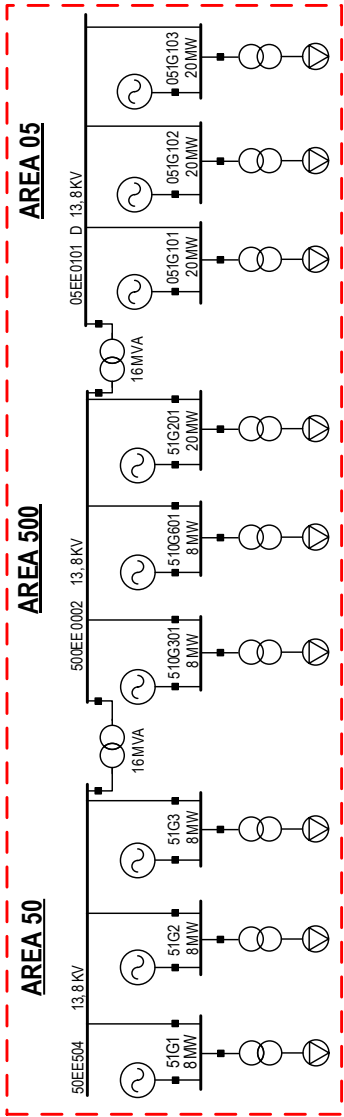
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

### *Single Line Diagram* PT. Pertamina RU IV Cilacap Eksisting



**Single Line Diagram PT. Pertamina RU IV Cilacap Daerah Area Kasus yang Dianalis Critical Clearing Angle**





## Data Setting Governor

- **Type** : 505
- **Generator** : 51G1 ; 51G2 ; 51G3 ; 510G301 ; 510G601

13.8 kV   8 MW   Voltage Control					
<input checked="" type="radio"/> Built-in <input type="radio"/> UDM					
Type		Mode		Priority	
505		Droop		Load	
Sample Data					
Droop 1				I1 <D>	SDR1
4				6	5
P1 <I>	I1 <I>	SDR1 <I>	EFmax	P1 <D>	
8	6	5	162	8	
L1	L2	Ta1	Tm1	TS	
100	-30	1	1	0.015	
Droop2	P2	I2	SDR2	ExtPress	ExtFlow
4	3	6	5	1	1
HPa	HPb	HPc	HPmax	Sa	Sb
84	172	30	172	24865	9600
Sc	Smax	L3	L4	Ta2	Tm2
-400	7000	100	0	1	1

## Data Setting Governor

- **Type** : 505
- **Generator** : 51G201 ; 051G101 ; 051G102 ; 051G103

13.8 kV 20 MW Voltage Control						
<input checked="" type="radio"/> Built-in <input type="radio"/> UDM						
Type		Mode		Priority		
505		Droop		Load		
Sample Data						
Droop 1				I1 <D>	SDR1	RampRate
4				6	5	0.03
P1 <I>	I1 <I>	SDR1 <I>	EFmax	P1 <D>		
8	6	5	162	8		
L1	L2	Ta1	Tm1	TS		
100	-30	1	1	0.015		
Droop2	P2	I2	SDR2	ExtPress	ExtFlow	
4	3	6	5	1	1	
HPa	HPb	HPc	HPmax	Sa	Sb	
84	172	30	172	24865	9600	
Sc	Smax	L3	L4	Ta2	Tm2	
-400	17000	100	0	1	1	

## BIODATA PENULIS



**Fahmi Nurfaishal**, dilahirkan di kota Surabaya pada tanggal 31 Mei 1996. Penulis memulai jenjang pendidikan di TK Darut Taqwa pada tahun 2000-2002, SD Darut Taqwa Surabaya pada tahun 2002-2008, SMPN 12 Surabaya tahun ajaran 2008-2011 dan SMA Negeri 2 Surabaya pada tahun 2011-2014 dan sejak 2014 menempuh pendidikan sebagai mahasiswa bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Selama kuliah, penulis aktif sebagai anggota organisasi divisi Kalpataru Elektro ITS, sebagai staff HIMATEKTRO ITS 2015-2016 dan juga sebagai asisten Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST B204). Penulis dapat dihubungi melalui email [fahminurfaishal@gmail.com](mailto:fahminurfaishal@gmail.com).